

# Treball de Fi de Màster

Màster Universitari en Enginyeria Industrial (MUEI)

## Projecte executiu per a la construcció de la biblioteca de l'Almeda a Cornellà (Barcelona)

### MEMÒRIA

20 de juny de 2019

**Autor:** Félix Muñoz Torres

**Director:** Frederic Marimon Carvajal

**Convocatòria:** 06/2019



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

Aquest treball és un estudi descriptiu de la construcció de la biblioteca de l'Almeda a Cornellà de Llobregat.

Es fa un seguiment cronològic de la execució de l'estructura comprès entre febrer i juny de 2019.

Es tracta d'una estructura de formigó armat amb forjat sanitari, primera planta, coberta plana i coberta inclinada. La fonamentació és de tipus superficial amb sabates aïllades i arriostrades.

L'estructura disposa d'elastòmers que aïllen la fonamentació de la resta de l'edifici per a absorbir-ne les vibracions produïdes pel pas del ferrocarril.

A més, es fa una descripció del funcionament del sector de la construcció. S'aprofundeix en dues metodologies innovadores en la construcció: BIM i *Lean Construction* i com s'han implantat a l'obra.





## Índex

Resum .....	1
<b>Índex</b> .....	3
Índex de taules .....	8
1. Prefaci .....	9
2 Introducció .....	11
2.1 Objectius del projecte .....	11
2.2 Abast del projecte .....	11
3 El present del sector de la construcció .....	13
3.1 La direcció facultativa .....	14
3.2 El projecte executiu .....	15
3.3 L'empresa constructora .....	23
4 El futur del sector de la construcció .....	29
4.1 Building Information Modeling.....	29
4.1.1 Objectes i famílies BIM.....	34
4.1.2 Software BIM.....	36
4.1.3 Estat actual del BIM.....	38
4.1.4 Ús del BIM en la construcció de la Biblioteca de l'Almeda .....	39
4.2 Lean Construction .....	42
4.2.1 Last Planner System (LPS).....	45
4.2.2 Integrated Project Delivery (IPD) .....	48
5 Seguiment de la construcció de la biblioteca de l'Almeda .....	53
5.1 Implantació d'obra i enderrocs previs .....	56
5.2 Fonamentació .....	57
5.3 Xarxa de sanejament .....	64
5.4 Sistema anti-vibratori.....	65
5.5 Forjat sanitari .....	72
5.6 Pilars de la planta baixa .....	77
5.7 Forjat de la primera planta .....	80
5.8 Pilars primera planta.....	87
5.9 Coberta A.....	88
5.10 Coberta B .....	89
5.11 Control de qualitat.....	91
5.11.1 Assajos de resistència del formigó.....	91
5.11.2 Assajos de docilitat del formigó.....	93
5.11.3 Assaig de partícules magnètiques .....	95
5.12 Costos i amidaments .....	96

6	Cost del projecte .....	97
7	Conclusions .....	99
8	Agraïments.....	101
9	Bibliografia .....	103
	Annexos.....	105

## Índex de figures

Figura 1: Estructura tradicional del sector de la construcció. ....	13
Figura 2: Superfícies construïdes de la memòria descriptiva. ....	15
Figura 3: Fragment de la Memòria Constructiva de la Biblioteca de l'Almeda.....	16
Figura 4: Fragment de l'estudi de geotècnia de la Biblioteca de l'Almeda. ....	17
Figura 5: Qualificació energètica present al projecte executiu de la biblioteca de l'Almeda. ....	17
Figura 6: Fragment de planta d'arquitectura de la biblioteca de l'Almeda .....	18
Figura 7: Fragment de detall constructiu de la biblioteca de l'Almeda.....	18
Figura 8: Fragment dels plànols d'estructura de la biblioteca de l'Almeda on es veu l'armat transversal d'una planta, seccions d'algunes jàsseres i informació addicional com les longituds de solapament de les barres, les característiques del forjat i del formigó. ....	19
Figura 9: Fragment d'un plànol d'instal·lacions de clima de la biblioteca de l'Almeda. ....	20
Figura 10: Fragment d'un plànol d'urbanització de la biblioteca de l'Almeda. ....	20
Figura 11: Amidament de formigó per a pilars de la biblioteca de l'Almeda.....	21
Figura 12: Partida de formigó per a pilars del pressupost de la biblioteca de l'Almeda. ....	22
Figura 13: Mapa de processos d'una empresa constructora. ....	23
Figura 14: Fulla de càlcul amb la comparativa de diferents subcontractistes (preus ficticis).....	25
Figura 15: Feines de replanteig dutes a terme per l'encarregat d'obra.....	25
Figura 16: Fragment del document de seguiment de PRL. ....	27
Figura 17: Fragment d'un pla de seguretat i salut.....	28
Figura 18: Cicle de vida d'un projecte BIM. ....	29
Figura 19: Tipus de dades que es solen incorporar en un model BIM.....	31

Figura 20: Estructura en un model BIM.....	32
Figura 21: Estructura i instal·lacions en un model BIM.....	32
Figura 22: Col·lisió entre conducte de clima i biga. ....	33
Figura 23: Detecció de la col·lisió per part del software BIM .....	33
Figura 24: Exemples d'objectes BIM .....	34
Figura 25: Logotips d'Archicad i Revit.....	36
Figura 26: Softwares BIM més utilitzats al Regne Unit. ....	36
Figura 27: Logotip de Building Smart.....	37
Figura 28: Interior de la biblioteca de l'Almeda. ....	39
Figura 29: Exterior de la biblioteca de l'Almeda. ....	40
Figura 30: Exterior de la biblioteca de l'Almeda. ....	40
Figura 31: Tall de secció de la biblioteca de l'Almeda. ....	40
Figura 32: Estructura de la biblioteca de l'Almeda. ....	41
Figura 33: Esquema de la pissarra de LPS.....	46
Figura 34: Pissarra de LPS de les obres de la biblioteca de l'Almeda. ....	47
Figura 35: Fragment del document de seguiment de LPS.....	47
Figura 36: Diferències temporals entre un procés convencional i un procés IPD. ....	48
Figura 37: Estructura organitzativa d'un projecte IPD. ....	49
Figura 38: Desglossat del cost màxim estimat. ....	50
Figura 39: Estructura de la biblioteca.....	54
Figura 40: Estructura de la biblioteca.....	54
Figura 41: Evolució temporal dels treballs d'estructura. ....	55
Figura 42: Implantació d'obra.....	56
Figura 43: Perfil estratigràfic del terreny i consideracions geotècniques. ....	57
Figura 44: Tensió admissible del terreny.....	58
Figura 45: Sabates rígides i flexibles .....	58
Figura 46: Sabates rígides. <i>Universidad de Alicante</i> .....	59

Figura 47: Sabata flexible.....	59
Figura 48: Fonamentació superficial de la biblioteca de l'Almeda.....	60
Figura 49: Excavació per a la fonamentació superficial.....	61
Figura 50: Armat de la fonamentació.....	62
Figura 51: Presa de terra de l'edifici.....	62
Figura 52: Formigonat de les sabates.....	63
Figura 53: Base de la grua torre.....	63
Figura 54: Fonamentació de la grua torre.....	64
Figura 55: Fonamentació superficial.....	64
Figura 56: Sanejament horitzontal de l'edifici.....	65
Figura 57: Esquema 3D del sistema de pòrtics del forjat sanitari.....	66
Figura 58: Diferències entre una estructura convencional amb sabates (esquerra) i la solució emprada a l'Almeda (dreta).....	67
Figura 59: Marca de posicionat dels elastòmers.....	67
Figura 60: Elastòmer (esquerra) i plaques d'acer (dreta).....	68
Figura 61: Elastòmers sobre la sabata i encofrat de porex.....	69
Figura 62: Biga transversal encofrada.....	69
Figura 63: Configuració de l'armat de les bigues transversals, els elastòmers, les plaques d'acer i l'encofrat de porex.....	69
Figura 64: Col·locació de l'armat de les bigues transversals.....	70
Figura 65: Bigues transversals encofrades i ferrallades, amb les esperes dels pilars de la planta baixa muntats.....	70
Figura 66: Formigonat i vibrat de les bigues transversals.....	71
Figura 67: Bigues transversals recolzades sobre els elastòmers.....	71
Figura 68: Esquema d'un forjat unidireccional amb biguetes i revoltos.....	72
Figura 69: Bigues pretensades recolzades sobre les bigues transversals.....	73
Figura 70: A l'esquerra: Forjat sanitari amb biguetes pretensades, perfils HEB en l'àmbit del forat de l'ascensor i revoltos. A la dreta: Unió entre perfils HEB 180 i platina de recolzament per a les biguetes.....	74
Figura 71: Solucions per als punts on no es podia col·locar revoltó.....	74

Figura 72: Rigidització del recolzament de les biguetes.....	75
Figura 73: Moment flector i esforç tallant en una biga amb suports intermitjos. ....	76
Figura 74: Armadures de negatiu.....	76
Figura 75: Forjat sanitari completament ferrallat. ....	76
Figura 76: Forjat sanitari formigonat. ....	77
Figura 77: Operaris punxant els pilars de la planta baixa. ....	77
Figura 78: Encofrat dels pilars. ....	78
Figura 79: Construcció dels pilars de la primera planta.....	78
Figura 80: Separadors per a garantir el recobriment. ....	79
Figura 81: Reparació de coqueres en la base del pilar ....	80
Figura 82: Pilars de la primera planta executats.....	80
Figura 83: Esquema de muntatge de l'encofrat. ....	81
Figura 84: Proteccions col·lectives i individuals.....	82
Figura 85: Esquema d'un forjat bidireccional reticular.....	83
Figura 86: Suports per als reforços. ....	83
Figura 87: Col·locació de cassetons. ....	84
Figura 88: Creueta de punxonament.....	84
Figura 89: Solució per al recobriment de l'armat inferior.....	85
Figura 90: Primera planta ferrallada. ....	85
Figura 91: Formigonat del forjat. ....	86
Figura 92: Forjat desencofrat.....	86
Figura 93: Valors característics de sobrecàrrega d'ús prescrits pel CTE.....	87
Figura 94: Zones amb sobrecàrrega d'ús de 15 kN/m². ....	87
Figura 95: Ferrallat de pilars fora de planta. ....	88
Figura 96: Foratassat de la coberta A per a impermeabilització amb poliurea. ....	88
Figura 97: Pilars metàl·lics. ....	89
Figura 98: Coberta B.....	90

Figura 99: Gelosia.....	90
Figura 100: Provetes de Ø15 x 30 cm. ....	92
Figura 101: Factors de conversió per a traduir resultats de provetes cubiques i cilíndriques de la EHE-08.....	92
Figura 102: Sèrie de 6 provetes. ....	93
Figura 103: Assaig del con d'Abrams. ....	93
Figura 104: Assajos de resistència i docilitat del formigó del forjat sanitari. ....	94
Figura 105: Assaig per partícules magnètiques. ....	95

## Índex de taules

Taula 1: Exemple de diferents LOD d'una porta.....	35
Taula 2: Diferències entre la indústria manufacturera i la indústria de la construcció. ....	44
Taula 3: Lots de provetes dels elements estructurals de l'edifici. ....	91
Taula 4: Consistència del formigó en funció de l'assentament.....	94
Taula 5: Amidaments principals i estimació dels costos directes.....	96
Taula 6: Cost del treball.....	97

## 1. Prefaci

Com a estudiant del Màster Universitari en Enginyeria Industrial, especialitat estructures i construcció he tingut ocasió d'adquirir una gran quantitat de coneixements tècnics. Molts d'ells, com és natural, enfocats a les estructures i a la construcció.

No obstant, vaig considerar que era interessant poder complementar aquests coneixements adquirits a l'Escola amb una visió pràctica i global del sector a través de participar-hi activament.

Sabent que em sentia atret sobretot pel món estructural, però pel sector de la construcció en general, vaig pensar que fer unes pràctiques en una empresa constructora m'ajudarien a fer-me una idea de com funciona aquest món.

Durant el transcurs del segon any del màster he fet pràctiques a l'empresa Constructora de Calaf S.A.U. He treballat a peu d'obra i he participat en la execució de diversos projectes d'edificació. La biblioteca del barri de l'Almeda ha estat un d'ells.

Per l'interès que em desperta l'estructura d'aquest edifici, que com el lector podrà comprovar té alguns trets característics poc habituals, aquest ha estat el projecte executiu en el que he basat el meu treball de fi de màster.

Treballant a peu d'obra he tingut la oportunitat de participar activament en la construcció de l'estructura de l'edifici en qüestió i he pogut aprendre com es duen a la pràctica moltes de les coses que he après a les aules de l'Escola.

A més, el fet de tractar amb proveïdors, subcontractistes, companys i direccions facultatives, m'ha donat les eines necessàries per a familiaritzar-me amb el funcionament del sector de la construcció i quins passos seguirà en els propers anys.

El treball que llegireu a continuació és el fruit d'aquest aprenentatge.





## 2 Introducció

Durant les meves pràctiques a Constructora de Calaf S.A.U he treballat en la posició de cap de producció. Les funcions del cap de producció estan reflectides en l'apartat 3.3 d'aquest document.

El treball es basa en la materialització del projecte executiu de la biblioteca de l'Almeda, a Cornellà de Llobregat. Es tracta d'un edifici de planta rectangular amb una planta baixa d'aproximadament 500 m<sup>2</sup> i una primera planta de 670 m<sup>2</sup> destinat a ésser una biblioteca i una sala de lectura 24h.

El client és l'Ajuntament de Cornellà de Llobregat, que gestiona la licitació, la direcció d'obra i la confecció del projecte a través de l'Àrea Metropolitana de Barcelona.

Constructora de Calaf S.A.U va ser l'adjudicatària del projecte per un import d'adjudicació de 2.071.433,28 € al juliol de 2018 a través d'un concurs públic.

Aquest document ha estat realitzat durant el període en que s'ha desenvolupat la construcció de l'estructura de l'edifici, de forma que la seva redacció ha estat seqüencial amb el seu desenvolupament.

### 2.1 Objectius del projecte

Tal com s'ha comentat en el prefaci, considero que el fet de complementar els coneixements adquirits a la universitat amb coneixements més pràctics sobre les estructures i el món de la edificació en general és una pràctica molt beneficiosa per a l'estudiant del MUEI que segueixi la especialització en estructures i construcció.

En aquest treball he volgut recollir i transmetre la meva experiència adquirida a Constructora Calaf S.A.U en l'execució d'un projecte constructiu en concret.

Es tracta d'un estudi descriptiu sobre la construcció de la biblioteca de l'Almeda que pretén aportar al lector el coneixement dels aspectes més importants d'un procés constructiu des del punt de vista de l'enginyeria estructural i de la construcció.

Es donarà èmfasi en aclarir quin és el funcionament actual del sector de la construcció i quins són els passos que, al meu parer, aquest seguirà en els propers anys.

A més, el seguiment de la construcció de l'estructura de la biblioteca pretén definir quin és el procés de construcció d'una estructura d'edificació i descriure la filosofia dels elements estructurals que conté.

Així doncs, l'objectiu d'aquest projecte és la redacció d'un document que approximi l'estudiant del MUEI que segueixi l'especialitat en estructures i construcció a les pràctiques d'execució d'una estructura. I a més donar una visió generalista de la composició del sector i les noves tendències que hi impacten de ple.

### 2.2 Abast del projecte

Aquest treball té una primera part on es defineixen els principals agents involucrats en un projecte constructiu: projectista, constructor i promotor. Es parla de l'estructura i el funcionament intern d'una empresa constructora i també de la direcció facultativa i els seus integrants.

A partir del projecte executiu de la biblioteca de l'Almeda i de les exigències del Codi Tècnic de la Edificació en quant al contingut d'un projecte executiu, es defineixen quins són els principals elements que aquest ha de contenir.

Un cop reflectits els aspectes que considero més importants de l'actualitat del sector, el lector podrà trobar una segona part del projecte que introdueix les tecnologies i metodologies més importants que actualitzaran el món de l'edificació i com s'han aplicat en la construcció de la biblioteca de l'Almeda. Aquests són *Building Information Modeling* i *Lean Construction*.

Finalment, aquest treball recull el seguiment cronològic de tota la fase de construcció de l'estructura de l'edifici.

Es detalla el procediment constructiu de tots els elements executats entre febrer i juny de 2019. El lector trobarà un diagrama de Gantt (Figura 41) amb totes les activitats realitzades. L'estudi de cadascuna d'elles es troba en els apartats a continuació. Es descriu el perquè de cada execució, els conflictes viscuts i les solucions adoptades. Així com els controls de qualitat pertinents.

### 3 El present del sector de la construcció

Crec important, abans d'endinsar-se més en el projecte, explicar quin és el funcionament convencional del sector de la construcció. És a dir, quins són els agents que intervenen en la construcció d'un edifici. Començant des de qui té la necessitat d'un nou edifici i passant per qui el dissenya i qui el construeix.

El següent esquema (Figura 1) mostra l'estructura tradicional del sector:

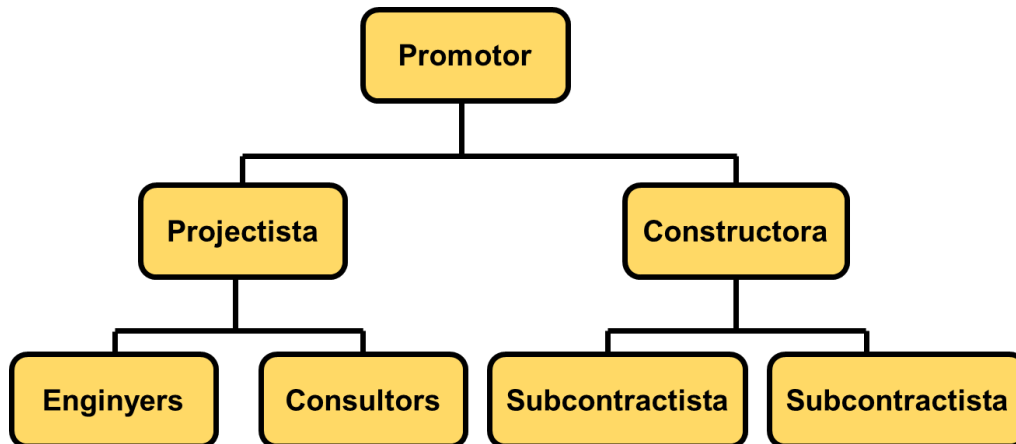


Figura 1: Estructura tradicional del sector de la construcció. *Elaboració pròpia.*

El promotor és l'empresa o particular que impulsa i finança la construcció d'un nou edifici. És qui té la necessitat d'un nou immoble i per tant contracta a una empresa o professional a qui encarrega un projecte executiu. Aquest professional, el projectista, serà un arquitecte, enginyer industrial, enginyer civil, etc. en funció del tipus de construcció que es dugui a terme. El promotor també és qui contractarà al constructor per a fer realitat el projecte.

El projectista és qui redacta el projecte per encàrrec del promotor i subjecte a la normativa vigent. Però és habitual que degut a la complexitat del projecte, el dissenyador principal no tingui els coneixements tècnics necessaris per a projectar la totalitat de l'edifici. En aquest cas, el projectista haurà de recórrer a professionals especialitzats en diverses disciplines per a completar-ne el disseny. Els més habituals són els consultors d'estructures i els consultors d'instal·lacions. Aquests es coordinaran amb el projectista principal però assumiran la titularitat de la seva part del projecte.

El constructor és aquell qui assumeix contractualment davant del promotor el compromís d'executar el projecte per mitjans propis o no. En general (i en obra pública sempre) les empreses constructores es presenten a concurs per a l'adjudicació d'una obra que es lícita. Cadascuna de les empreses constructores participants al concurs farà una oferta amb un import determinat aspirant a ser l'adjudicatari de l'obra. El promotor decidirà a quina empresa n'adjudica la construcció.

La complexitat en l'execució fa que normalment l'empresa constructora no disposi de tots els mitjans propis per a fer els treballs de construcció, així que col·labora amb empreses subcontractistes especialitzades en treballs determinats (moviment de terres, encofradors, instal·ladors, etc.).

### 3.1 La direcció facultativa

Els principals agents que intervenen en un projecte d'edificació són, el promotor, el projectista i el constructor, com s'ha explicat en l'apartat anterior. Però en el procés de construcció també hi juga un paper molt important la direcció facultativa, designada pel promotor i encarregada de la direcció i control tècnics de l'obra. Està formada per:

- **Director d'obra:** És la persona encarregada de supervisar el correcte desenvolupament de l'obra en els diferents aspectes tècnics, estètics, etc. d'acord amb les especificacions definides en el projecte. És habitual que el director d'obra sigui el mateix projectista. Aquest serà el director principal de l'obra, però de la mateixa manera que en la fase de projecte, poden existir directors d'obra parcials coordinats amb el director d'obra. Així doncs, l'arquitecte signant d'un projecte d'edificació serà el director d'obra i vetllarà per a que aquesta sigui construïda d'acord al projecte inicial, o si escau, segons les seves indicacions. Aquest comptarà amb els projectistes parcials que seran els encarregats de la direcció d'obra relacionada amb la seva part del projecte. És a dir que, per exemple, si es decideix canviar les barres de l'armat d'unajàssera, aquesta decisió l'haurà de prendre el director d'obra d'estructures.

- **Director d'execució d'obra:** És la persona encarregada de supervisar la qualitat i la idoneïtat dels productes i materials de construcció que arriben a l'obra, ordenant la realització d'assajos i proves concretes. També és l'encarregat de supervisar la correcta col·locació a obra dels diferents materials d'acord amb les indicacions del director d'obra o les especificacions de projecte. Seguint amb l'exemple anterior, el director d'execució d'obra seria la persona que comprovaria que el ferro de lajàssera s'hagi col·locat tal com el director d'obra d'estructures ha indicat.

Una altra tasca del director d'execució és aprovar les certificacions, que són les factures que l'empresa constructora envia al promotor mensualment amb les tasques realitzades durant el mes.

- **Coordinador de seguretat i salut:** És la persona designada pel promotor per a vetllar que en l'obra es segueixin les normatives de prevenció de riscos laborals. És el responsable d'aprovar el pla de seguretat i salut redactat per l'empresa constructora en base a l'Estudi de Seguretat i Salut inclòs en el projecte executiu. El coordinador de seguretat i salut fa visites espontànies a l'obra i redacta informes sobre l'estat d'aquesta. Fa indicacions a l'empresa constructora de les mesures que ha de prendre per a realitzar els treballs amb seguretat.

### 3.2 El projecte executiu

El Codi Tècnic de l'Edificació [1] (Part 1, Annex 1) recull quins són els documents que han de constar en un projecte executiu. Aquests són:

- I. Memòria
- II. Plànols
- III. Plec de Condicions
- IV. Amidaments
- V. Pressupost

#### I - Memòria

La memòria és aquell document on es recull tota la informació relacionada amb la redacció del projecte i on es descriuen les solucions que es donen als diferents problemes. És un document on es recullen els antecedents de què es disposa, les necessitats i la solució proposada. Segons el CTE la memòria s'estructurarà en quatre parts: memòria descriptiva, memòria constructiva, compliment del CTE i annexes.

En la **memòria descriptiva** s'han d'identificar els agents de la construcció (promotor, projectista i tècnics implicats). Tot seguit cal donar informació prèvia a la redacció del projecte com per exemple informació de l'emplaçament de l'edifici, normativa urbanística aplicable, dades de l'edifici existent en cas d'una rehabilitació etc. A continuació, la memòria descriptiva inclou una descripció del projecte que inclou una descripció de l'edifici i dels elements que el componen, l'ús al que està destinat, descripció de la geometria (superfícies construïdes i ús d'aquestes, veure Figura 2) entre d'altres. Finalment es fa una descripció de les prestacions de l'edifici i les seves limitacions d'ús. Es fa saber també que les prestacions de l'edifici seran les requerides per la normativa vigent en funció del seu ús i localització.

<b>construïts</b>			
planta baixa			583,4m2
planta primera			568,1m2
planta segona			49,7m2
<b>TOTAL construïts</b>			<b>1.201,2m2</b>
<b>útils</b>			
		<b>programa</b>	<b>projecte</b>
planta baixa			437,6
	Àrea d'accés	100,0	100,0
	Espai polivalent	60,0	67,2
	Magatzem de l'espai polivalent	10,0	14,8
	Àrea d'informació i fons infantil	125,0	127,4
	Àrea de diaris i revistes	65,0	65,6
	Passadissos i escales		36,3
	Lavabos		26,3
planta primera			611,9
	Àrea d'informació i fons general	245,0	248,6
	Àrea de música i imatge	25,0	25,0
	Espais de suport	35,0	37,3
	Espai de formació	35,0	37,3
	Terrassa		97,0
	Despatx de direcció	20,0	22,3
	Espai de treball intern i dipòsit documental	50,0	50,0
	Magatzem logístic	10,0	9,5
	Espai de descans personal	10,0	10,9
	Sala Rack		2,8
	Lavabos		3,4
	Passadissos i escales		67,8
planta segona			46,8
	Instal·lacions		44,4
	escala		2,4
<b>TOTAL útils</b>		<b>790,0</b>	<b>1.096,2</b>
<b>SUPERFÍCIE CONSTRUÏDA URBANITZACIÓ</b>			<b>2.001,00m2</b>

Figura 2: Superfícies construïdes de la memòria descriptiva. *Projecte Executiu de la Biblioteca de l'Almeda* [2].

En la **memòria constructiva** es descriuen les solucions adoptades i es justifiquen les hipòtesis de partida en el disseny de l'edifici. S'exposen mètodes i bases de càlcul

utilitzats en el sistema estructural, instal·lacions etc. Hi apareixen definicions constructives dels sistemes d'evolvents, de compartimentació, acabats i equipament, etc.

La següent figura mostra una part de la memòria constructiva del Projecte Executiu de la Biblioteca de l'Almeda on es descriuen els coeficients de seguretat i de simultaneïtat d'accions que s'han tingut en compte en els càlculs d'estructura:

#### 3.4.1.2.- Coeficients parcials de seguretat per les accions

Tipus de verificació	Tipus d'acció	S. desfavorable	S. favorable
Resistència	Permanent	1.35	0.80
	Variable	1.50	0.00
Estabilitat	Permanent	1.10	0.90
	Variable	1.50	0.00

#### 3.4.1.3.- Coeficients de simultaneïtat

		$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Us	Zona administratives	0.70	0.50	0.30
Neu	altitud < 1000 m	0.50	0.20	0.00
Vent		0.60	0.5	0.00

Figura 3: Fragment de la Memòria Constructiva de la Biblioteca de l'Almeda. *Projecte Executiu de la Biblioteca de l'Almeda.*

La memòria d'un projecte executiu també inclou informació on es justifica que les prestacions de l'edifici **compleixen amb les exigències del CTE** en quant a seguretat estructural, seguretat en cas d'incendi, seguretat d'utilització, salubritat, protecció contra el soroll i estalvi d'energia entre d'altres. Aquesta informació es pot recollir en un apartat concret o bé pot estar recollida en altres parts de la memòria o bé ens els annexos.

Així doncs, una memòria d'un projecte executiu també ha de contenir tants **annexes** com sigui necessari per a la definició i justificació de les obres. Entre aquets annexes podem trobar entre d'altres:

**Informació de geotècnia:** Document que recull els resultats dels assajos realitzats "in situ" i al laboratori per a determinar les característiques mecàniques del subsol. També cal donar valors de la capacitat portant del subsol per als diferents tipus de fonamentació.

La Figura 4 mostra una part de l'estudi de geotècnia annex a la memòria del projecte executiu de la biblioteca de l'Almeda on es veu la càrrega aplicable per superfície a una fonamentació de pilots i de sabates.

**Càlcul de l'estructura:** La memòria d'un projecte executiu ha de contenir el càlcul de l'estructura, per a justificar que aquest s'ha fet d'acord amb la normativa vigent.

**Protecció contra incendis:** Descripció dels elements de seguretat activa i passiva contra incendis presents a l'edifici i justificació d'aquests d'acord amb la normativa.

**Instal·lacions de l'edifici:** Càlculs i descripció de les instal·lacions presents a l'edifici.

**Eficiència energètica:** El certificat d'eficiència energètica dona quin és el consum d'energia primària necessària per a mantenir els nivells estàndard de confort a l'edifici i quines són les emissions de CO<sub>2</sub> per a obtenir aquesta energia. S'atorguen diferents



categories a un edifici en funció de les emissions de CO<sub>2</sub> i de l'energia primària consumida (veure Figura 5). Els valors llindars per a estar en una categoria o una altra varien en funció d'alguns paràmetres com poden ser la zona climàtica o l'ús d'energies renovables dins l'edifici.

**Estudi de seguretat i salut:** El Reial Decret 1627/1997 estableix quan és necessària la redacció d'un estudi de seguretat i salut per part d'un tècnic competent contractat pel promotor. En cas de que aquest document s'hagi de redactar, aquest constarà com un annex en la memòria del projecte. L'objectiu d'aquest document és fer les previsions necessàries per a evitar els riscos que poden aparèixer durant l'execució de l'obra. Aquest document estableix les bases per a que l'empresa constructora elabori un document més extens i detallat on s'analitzin, es desenvolupin i es complementin les directrius de l'Estudi de Seguretat i Salut. Aquest document s'anomena Pla de Seguretat i Salut, i el seu objectiu és que l'empresa constructora, un cop estudiat el projecte i decidit la manera d'executar-lo, concreti quines són les mesures que prendrà per adequar el seu funcionament intern a les directrius de l'Estudi de Seguretat i Salut.

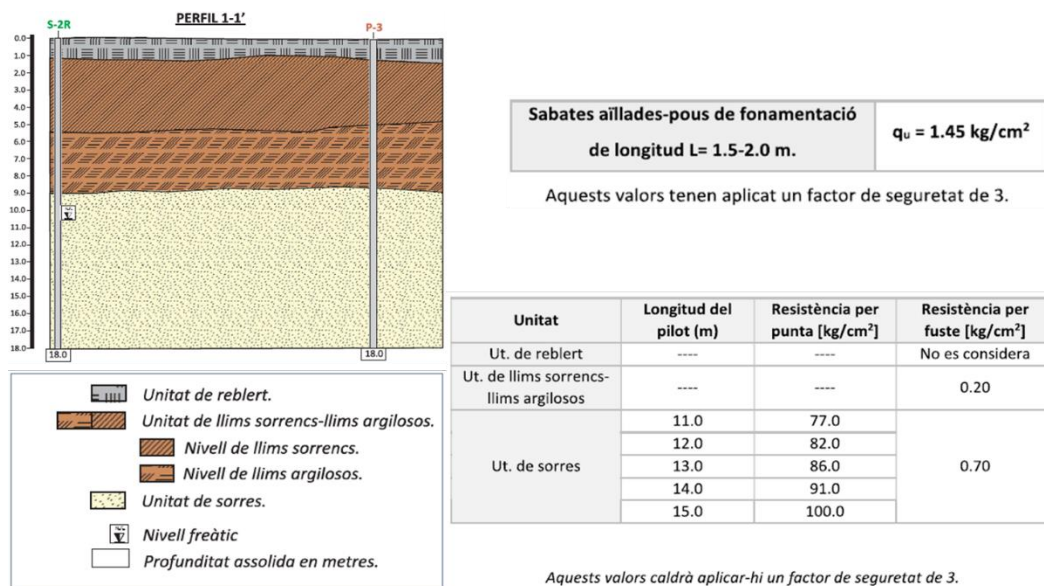


Figura 4: Fragment de l'estudi de geotècnia de la Biblioteca de l'Almeda. *Projecte Executiu de la Biblioteca de l'Almeda.*

#### CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE (kWh/m <sup>2</sup> ·año)		EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> ·año)	
<div>&lt;105.36 A</div> <div>105.36-171 B</div> <div>171.21-263.4 C</div> <div>263.40-342.42 D</div> <div>342.42-421.44 E</div> <div>421.44-526.80 F</div> <div>=&gt;526.80 G</div>	88,57 A	<div>&lt;19.41 A</div> <div>19.41-31.5 B</div> <div>31.54-48.52 C</div> <div>48.52-63.08 D</div> <div>63.08-77.64 E</div> <div>77.64-97.05 F</div> <div>=&gt;97.05 G</div>	13,78 A

Figura 5: Qualificació energètica present al projecte executiu de la biblioteca de l'Almeda. *Projecte Executiu de la Biblioteca de l'Almeda.*

## II – Plànols

Cal que el projecte inclogui tants plànols com sigui necessari per a definir l'edifici. En cas d'una rehabilitació s'han d'incloure els plànols de l'edifici abans de la intervenció. Generalment, els plànols d'un projecte d'edificació es classifiquen en quatre grans tipus: Els plànols d'arquitectura, els plànols d'estructura, els plànols d'instal·lacions i els plànols d'urbanització.

Els **plànols d'arquitectura** són els que mostren la forma, els materials i l'estil de l'edifici. L'objectiu d'aquests plànols són mostrar l'aspecte, la distribució i la disposició de tots els elements i zones de l'edifici un cop acabat. Podríem dir doncs, que són una representació de com ha de ser l'edifici un cop acabat. S'han d'incloure tants els detalls constructius com siguin necessaris. També s'ha de representar el mobiliari i cotes necessaris per a donar una idea clara dels espais. Els plànols d'emplaçament i localització també són considerats plànols d'arquitectura.

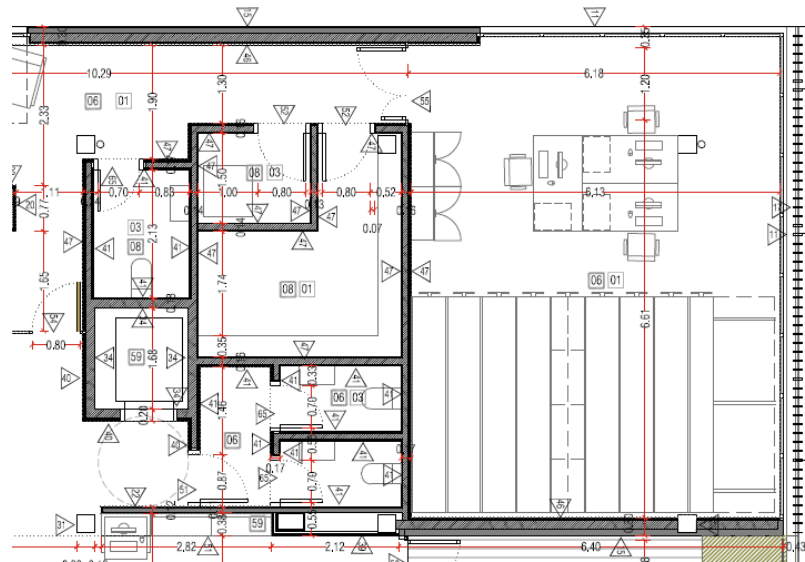


Figura 6: Fragment de planta d'arquitectura de la biblioteca de l'Almeda. *Projecte Executiu de la Biblioteca de l'Almeda.*

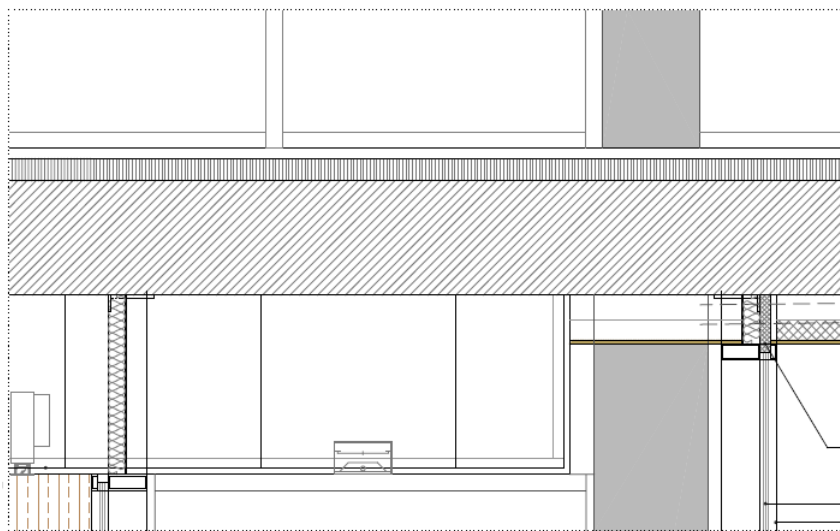


Figura 7: Fragment de detall constructiu de la biblioteca de l'Almeda. *Projecte Executiu de la Biblioteca de l'Almeda*



Els **plànols d'estructura** descriuen els materials i la disposició de tots els elements estructurals i fonamentacions de l'edifici. S'han d'incloure els detalls necessaris per a representar les unions entre elements constructius. En el cas d'estructura de formigó armat, s'ha d'incloure seccions de les diferents jàsseres i pilars per a veure a disposició dels estreps i les barres d'armat. Els diàmetres i els solapaments de les barres corrugades també han de ser clars i definits. Les característiques de l'acer i del formigó a utilitzar també han d'aparèixer en els plànols d'estructura. En veiem un exemple a la Figura 8.

Els **plànols d'instal·lacions** són aquells que ajuden a comprendre i executar tots els sistemes i serveis d'instal·lacions de l'edifici. Com per exemple els plànols d'instal·lacions d'aigua sanitària i pluvial, els plànols de la xarxa hidràulica, instal·lacions elèctriques, instal·lacions de gas o instal·lacions de clima entre d'altres. En veiem un exemple a la Figura 9.

Finalment també tenim els **plànols d'urbanització**, que detallen la configuració dels elements circumdats a l'edifici (carrers, places, mobiliari urbà, lluminàries públiques etc. En veiem un exemple a la Figura 10.

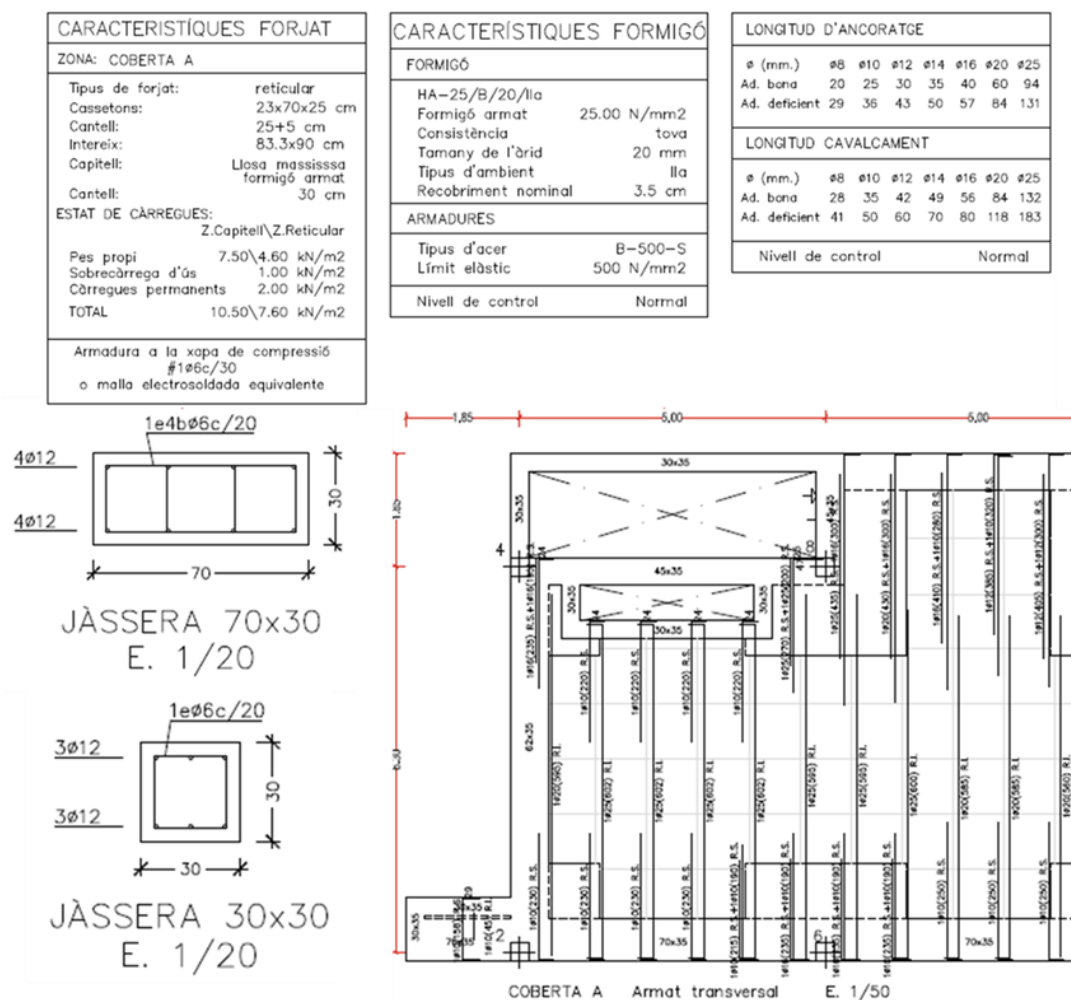


Figura 8: Fragment dels plànols d'estructura de la biblioteca de l'Almeda on es veu l'armat transversal d'una planta, seccions d'algunes jàsseres i informació addicional com les longituds de solapament de les barres, les característiques del forjat i del formigó. *Projecte Executiu de la Biblioteca de l'Almeda.*

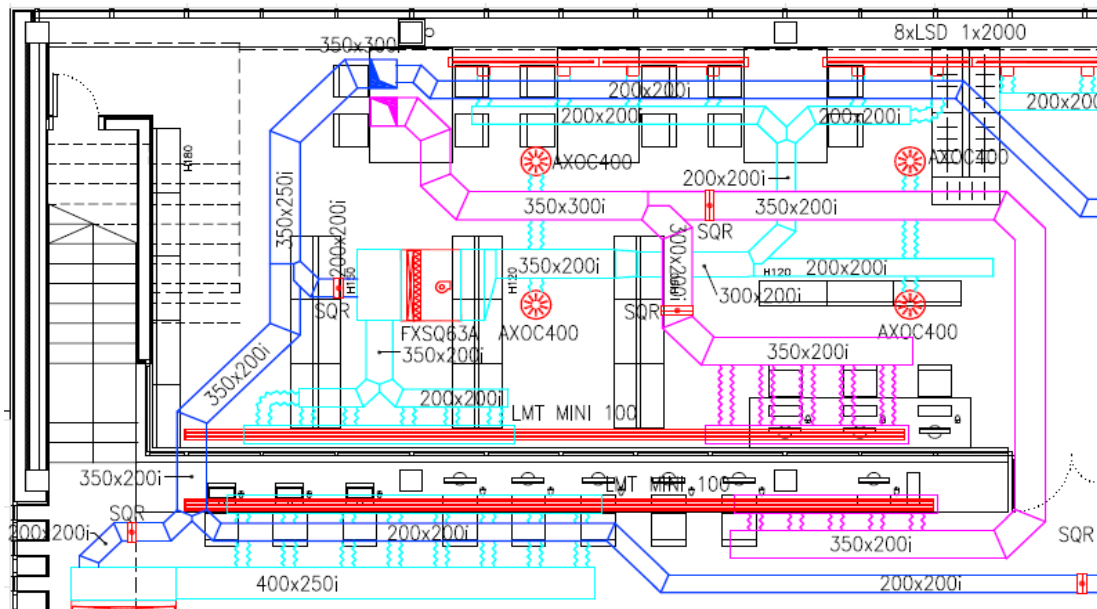


Figura 9: Fragment d'un plànol d'instal·lacions de clima de la biblioteca de l'Almeda. *Projecte Executiu de la Biblioteca de l'Almeda.*

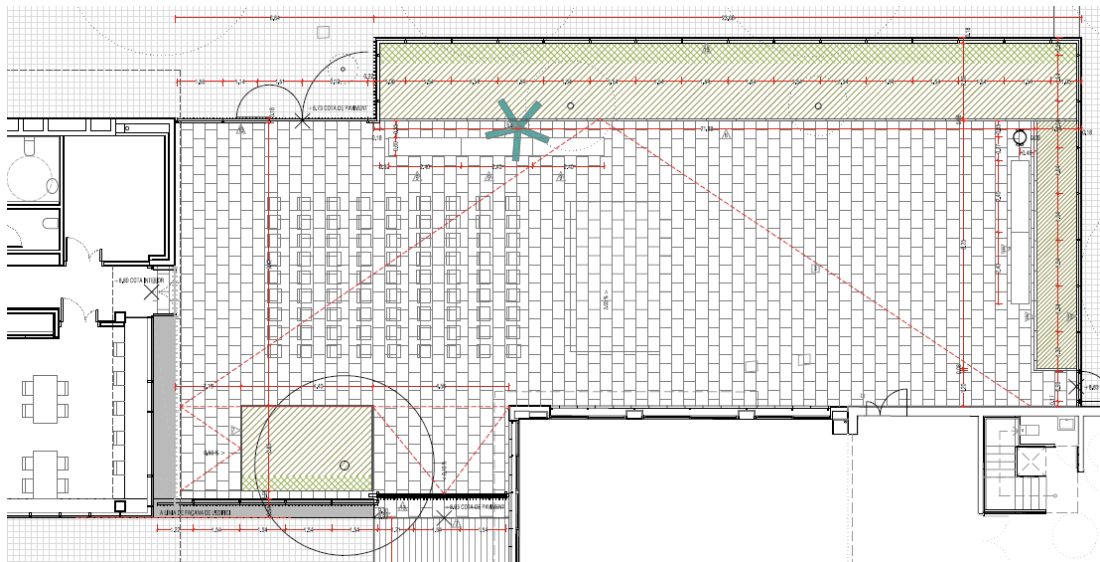


Figura 10: Fragment d'un plànol d'urbanització de la biblioteca de l'Almeda. *Projecte Executiu de la Biblioteca de l'Almeda.*

### III – Plecs de condicions

Un projecte executiu també conté un apartat de plecs de condicions de diversos tipus per a regular les actuacions del promotor, el projectista i el constructor: clàusules administratives, condicions tècniques generals i condicions tècniques particulars. Són un exemple de condicions habituals en un projecte executiu les que defineixen les característiques tècniques de productes que han d'arribar a obra, condicions de subministraments i manipulació, etc.

### IV – Amidaments

Els amidaments són una part del projecte on apareixen quantificats els diferents materials que s'han de col·locar a obra. Aquests apareixen classificats per capítols i

partides. Cada partida està desglossada amb tots els elements que la componen per a que sigui fàcil repassar la quantitat total de l'amidament.

Per exemple, en la Figura 11 podem veure l'amidament de formigó per als pilars de la biblioteca de l'Almeda en metres cúbics. Veiem que és una partida amb un codi determinat (E45118H3), que pertany al capítol d'edificació i està dins de l'apartat d'estructura i dins del subapartat d'estructura de formigó. Veiem que l'amidament de formigó per als pilars és de 19,062 m<sup>3</sup>. Aquest volum està desglossat en 11 pilars de 30x30 cm i 4,90 m d'alçada, 13 pilars de 35x35 cm i 4,90 m d'alçada, 8 pilars de 30x30 cm i 3,95 m d'alçada i 12 pilars de 30 x 30 cm de 3,30 metres d'alçada.

Obra	01	PRESSUPOST SALA DE LECTURA ALMEDA	
Capítol	01	EDIFICACIÓ	
Títol 3	02	ESTRUCTURA	
Títol 4	02	ESTRUCTURA DE FORMIGÓ	

NUM.	CODI	UA	DESCRIPCIÓ
2	E45118H3	m3	Formigó per a pilars, HA-25/B/20/Ila, de consistència tova i grandària màxima del granulat 20 mm, abx cubilot

Num.	Text	Tipus	[C]	[D]	[E]	[F]	TOTAL	Fórmula
1	Formigó pilars HA-25/B/20/Ila	T						
2	P.Baixa: 30x30		11,000	0,300	0,300	4,900	4,851	C#*D#*E#
3	35x35		13,000	0,350	0,350	4,900	7,803	C#*D#*E#
4	P.Primer: 30x30		8,000	0,300	0,300	3,950	2,844	C#*D#*E#
5			12,000	0,300	0,300	3,300	3,564	C#*D#*E#
6	Subtotal	S					19,062	SUMSUB
7								C#*D#*E#

TOTAL AMIDAMENT	19,062
-----------------	--------

Figura 11: Amidament de formigó per a pilars de la biblioteca de l'Almeda. *Projecte Executiu de la Biblioteca de l'Almeda.*

## V – Pressupost

En el pressupost apareix la valoració econòmica de les partides que apareixen en els amidaments. L'import del pressupost és el que rebrà el contractista per part del promotor per a executar el treball descrit a la partida.

Seguint amb l'exemple anterior, l'empresa constructora cobrarà 1910,77 € en concepte d'abocament de formigó per als pilars (veure Figura 12). Aquest import haurà de cobrir el preu d'adquisició dels metres cúbics de formigó, la mà d'obra necessària per a l'execució dels treballs i la part proporcional dels mitjans necessaris per a dur-lo a terme.

Naturalment, si hi ha canvis respecte el projecte inicial els preus de les noves partides es renegocien entre l'empresa constructora i el promotor.

TOTAL	Títol 4	01.01.02.01				13.960,34
Obra	01	Pressupost SALA DE LECTURA ALMEDA				
Capítol	01	EDIFICACIÓ				
Títol 3	02	ESTRUCTURA				
Títol 4	02	ESTRUCTURA DE FORMIGÓ				
NUM.	CODI	UA	DESCRIPCIÓ	PREU	AMIDAMENT	IMPORT
1	E4B13000	kg	Armadura per a pilars AP500 S d'acer en barres corrugades B500S de límit elàstic >= 500 N/mm2 (P - 40)	1,07	6.472,609	6.925,69
2	E45118H3	m3	Formigó per a pilars, HA-25/B/20/IIa, de consistència tova i grandària màxima del granulat 20 mm, abocat amb cubilot (P - 37)	100,24	19,062	1.910,77

EUR

Figura 12: Partida de formigó per a pilars del pressupost de la biblioteca de l'Almeda.  
*Projecte Executiu de la Biblioteca de l'Almeda.*

### 3.3 L'empresa constructora

Tal com s'ha comentat en l'apartat d'objectius, l'objecte d'aquest treball és proporcionar al lector una idea clara de com funciona el procés de construcció d'un edifici. És per això que considero necessari fer una ràpida descripció de quin és el funcionament intern d'una empresa constructora.

En la següent Figura 13 es mostra un mapa de processos d'una empresa constructora basat en el funcionament de l'empresa Constructora de Calaf S.A.U. Empresa on he treballat durant la redacció d'aquest document:

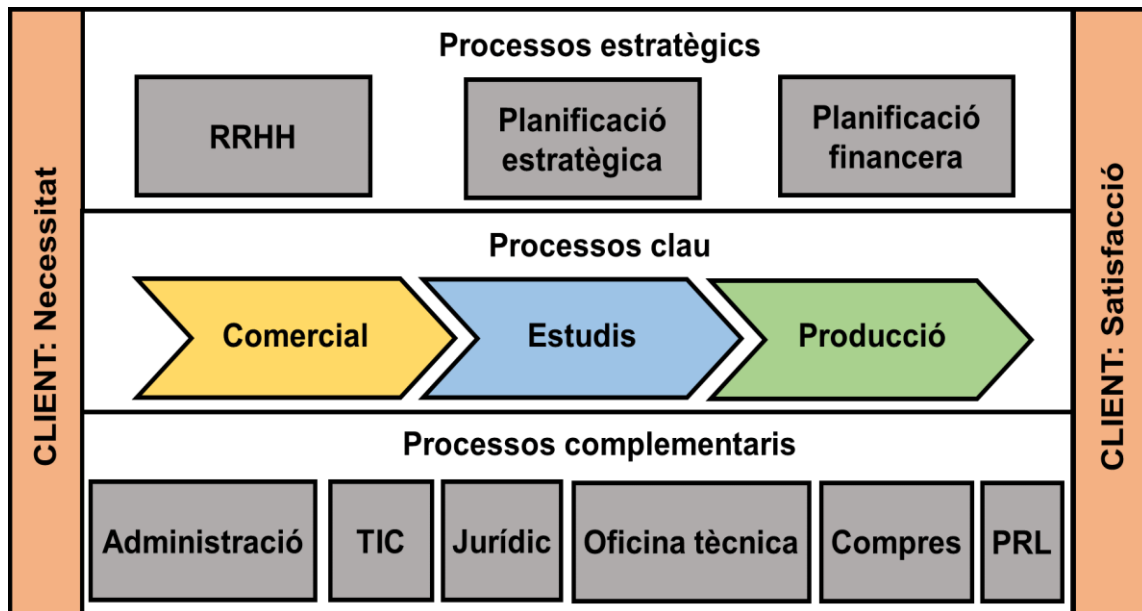


Figura 13: Mapa de processos d'una empresa constructora. *Elaboració pròpia.*

En un mapa de processos podem trobar quines són les activitats necessàries per a transformar les necessitats d'un client en satisfacció d'un client. En definitiva, es tracta dels processos que cal seguir per donar servei a un client que contracta a una organització per a un fi determinat: **processos clau**. Per a donar suport als processos clau, existeixen una sèrie de **processos complementaris** que no aporten valor al client directament però que serveixen per a que els processos clau es desenvolupin correctament. També existeixen una sèrie de **processos estratègics** que tenen per a objectiu marcar les directrius i la forma d'actuar de l'empresa en el present i el futur.

Per a dur a terme els processos clau d'una empresa constructora, que consisteixen en rebre un projecte executiu d'un promotor i construir-lo calen tres departaments: el departament comercial, el departament d'estudis i el departament de producció.

El **departament comercial** té com a missió trobar promotors que vulguin construir un edifici. El departament comercial donarà a conèixer l'empresa als promotors i buscarà el màxim nombre de concursos de licitació de projectes possible.

Un cop el departament comercial hagi aconseguit que l'empresa constructora es presenti a concurs, caldrà que aquesta valori l'import pel qual pot construir el que diu el projecte. La missió del **departament d'estudis** és precisament la de valorar el projecte.

Un cop l'empresa constructora és adjudicatària del projecte, aquest passa al **departament de producció**, que serà l'encarregat de dur-lo a terme. El departament assignarà un equip d'obra format per:

- **Cap d'obra:** És el professional que planifica, coordina i supervisa l'execució de les obres que li són assignades per part de l'empresa constructora. Ha de seguir les directrius marcades per la direcció facultativa. És l'encarregat de controlar el pressupost i vigilar que els costos de l'obra no superin l'import planificat pel departament d'estudis. És l'encarregat de fer la planificació dels treballs a realitzar a l'obra i coordinar els diferents subcontractistes.

Com a professional format en la tècnica (enginyeria, arquitectura, enginyeria tècnica, arquitectura tècnica...), també té la missió de que l'execució de l'obra sigui tècnicament correcta. Ha d'estudiar el projecte per a fer saber a la direcció facultativa qualsevol suggeriment o consulta que li sorgeixin. Cal doncs, que mantingui una comunicació directa amb la direcció facultativa, amb l'encarregat d'obra i amb els proveïdors i subcontractistes.

També estan dins les funcions del cap d'obra les de portar el control dels albarans i factures dels diferents industrials i proveïdors així com demanar ofertes i contractar als diferents subcontractistes i subministradors de material. El cap d'obra també és el responsable de demanar totes les llicències i permisos necessaris per a dur a terme l'obra i fer complir el pla de seguretat i salut.

Finalment, també és missió del cap d'obra la de preparar les certificacions mensual que s'han d'entregar al director d'execució d'obra.

- **Cap de producció:** Professional que té com a missió donar suport al cap d'obra en les seves funcions. És la "ma drete" del cap d'obra i el seu objectiu és alleugerir la càrrega de treball del cap d'obra assumint-ne part de les tasques i responsabilitats. Evidentment, sempre sota la supervisió del cap d'obra.

Les seves funcions principals són les de estudiar els plànols, els amidaments i les partides de projecte per a detectar possibles incongruències. Aquestes incongruències són comunicades al cap d'obra i posteriorment resoltes amb la direcció facultativa en les visites d'obra.

A més el cap de producció ajuda al cap d'obra a preparar les certificacions i proformes per a les diferents empreses subcontractistes; efectuant medicions a peu d'obra del que s'ha construït fins al moment i portant part del control dels albarans.

Juntament amb el cap d'obra, participa en la planificació dels industrials que entren cada setmana a l'obra per a preveure els material i recursos necessaris i dona suport en el compliment del pla de seguretat.

Finalment, el cap de producció s'encarrega de la demanda d'ofertes i elaboració de comparatives entre diferents industrials i proveïdors. Sovint participa en reunions amb el cap d'obra i alguns industrials per a resoldre dubtes constructius que poden sorgir.

A la Figura 14 es mostra una fulla de càlcul utilitzada per a fer el comparatiu entre diferents subcontractistes.



COMPARATIU D'OFERTES DE PROVEÏDORS				Ruta on trobar les ofertes:		Lloc de lliurament: <b>Obra</b>	
Registre del Sistema Integrat de Gestió NEG CC 05 IP 2R.v2				X:\01.CALAF\04.PRODUCCION\19XX....		Qui realitza el transport: <b>Obra</b>	
Comparatiu d <b>SUBMINISTRAMENT DE FORMIGÓ</b>				CÀRREG COST DE TRANSPORT:			
Nº i Nom de l'OBRA:				<b>Proveïdor 1</b>		<b>Proveïdor 2</b>	
Cap d'obra:				NIF:		NIF:	
<input checked="" type="checkbox"/> Comanda material <input type="checkbox"/> 3-Subcontractes <input type="checkbox"/> Ampliació comanda nº CC-00...				Contacte:		Contacte:	
<input type="checkbox"/> 5-Material <input type="checkbox"/> 6-Maquinària <input type="checkbox"/> 7-Lloguer				Telèfon:		Telèfon:	
Data inici:				E-mail:		E-mail:	
Data final:				Nota Aval. Cont.:		Nota Aval. Cont.:	
<b>CODI</b>	<b>DESCRIPCIÓ DEL PRODUCTE O SERVEI</b>	<b>QUANTITAT</b>	<b>UT</b>	<b>PREU</b>	<b>IMPORT</b>	<b>PREU</b>	<b>IMPORT</b>
01	Formigó HL-150/P/20 de consistència plàstica i grandària màxima del granulat 20 mm per a neteja i anivellament. Abocat des del camió.	16,80	m3	55,000	924,00	55,500	932,40
02	Formigó HA-25/B/20/IIa, de consistència tova i grandària màxima del granulat 20 mm.	456,378	m3	65,000	29.664,57	63,750	29.094,10
<b>IMPORT TOTAL:</b>				<b>30.588,57</b>		<b>30.026,50</b>	
<b>Sanció</b> incompliment terminis parcials (Euros/dia):				<b>Condicions pagament:</b>			
<b>Sanció</b> incompliment terminis totals (Euros/dia):				<b>Utilitzat per estudi obra:</b>		<input type="checkbox"/>	
<b>Retenció</b> sobre factura en concepte de garantia: %				<b>Propostat per adjudicat:</b>		<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 14: Fulla de càlcul amb la comparativa de diferents subcontractistes (preus ficticis). *Elaboració pròpia.*

- **Encarregat d'obra:** L'encarregat d'obra és l'enllaç entre el cap d'obra o el cap de producció i els diferents industrials presents a l'obra. És l'encarregat de donar indicacions i supervisar el personal de les diferents colles d'oficis presents a l'obra. Coordina la distribució de materials i eines i fa feines de replanteig a l'obra en base als plànols de projecte.

En la Figura 15 es pot veure una de les tasques més representatives de la feina de l'encarregat, que és el replanteig a obra dels plànols de projecte. Això significa marcar a obra la posició dels diferents elements que s'han de construir. En la imatge es poden veure les anotacions fetes per l'encarregat d'obra sobre un plànol de forjat per a delimitar les jàsseres, els capitells i la posició dels cassetons. En la imatge també es veu com l'encarregat ha traslladat les anotacions del plànol a obra fent marques a la fusta de l'encofrat del forjat.



Figura 15: Feines de replanteig dutes a terme per l'encarregat d'obra. *Elaboració pròpia.*

L'equip d'obra es reuneix setmanalment amb la direcció facultativa en les anomenades **visites d'obra**. En aquestes reunions l'empresa constructora informa a la direcció facultativa de l'estat actual de l'obra. A més, s'informa de les actuacions futures i es fa consultes a la direcció facultativa per tal de resoldre tots els dubtes o indefinicions que apareguin al projecte. Es redacten i es firmen actes de visita d'obra, que són el document on queden reflectides les decisions acordades entre la direcció facultativa i l'equip d'obra.

Els processos clau descrits anteriorment necessiten el suport de certs departaments de l'empresa, que duen a terme els processos complementaris. Deixant de banda els departaments jurídic, administratiu i de suport TIC presents en gairebé totes les empreses, cal fer referència a l'oficina tècnica, el departament de compres i el departament de Prevenció de Riscos Laborals.

L'**oficina tècnica** d'una empresa constructora és un departament format principalment per tècnics especialitzats en diversos aspectes de la construcció com el càlcul d'estructures i instal·lacions entre d'altres. La missió de l'oficina tècnica és donar suport als equips d'obra en totes les consultes tècniques que puguin sorgir. També es fan recàlculs d'estructura i instal·lacions per a proposar-les a les direccions facultatives i així optimitzar la construcció i reduir costos. A més, l'oficina també està a disposició del departament d'estudis per a assessorar sobre quin és el cost dels projectes en licitació.

El **departament de compres** formalitza i envia els contractes als subcontractistes seguint les indicacions de l'equip d'obra. A més, aconsegueix acords marc amb proveïdors i industrials per a aconseguir millors preus per als equips d'obra. Per exemple, si cada equip d'obra negocia la contractació d'una bomba de formigó individualment, no aconseguirà preus tant favorables com si ho fa el departament de compres representant a totes les obres de l'empresa, ja que el bombeig de formigó és un servei necessari en pràcticament totes les obres.

Finalment, és important parlar del **departament de prevenció de riscos laborals**, que dona assessorament als equips d'obra per a fer complir les normatives de prevenció de riscos laborals. La missió dels tècnics de prevenció de riscos laborals d'una empresa constructora és anticipar-se a les indicacions del coordinador de seguretat i salut i mantenir sempre unes condicions de seguretat i mediambientals adequades. En el cas de Constructora de Calaf S.A.U, els tècnic de PRL assignat a cada obra fa visites periòdiques a l'obra per a comprovar l'estat d'aquesta. El tècnic assignat a cada obra està a disposició de l'equip d'obra per a la consulta de tots els dubtes que sorgeixin i dona suport en la planificació de la seguretat en les futurs treballs a obra.

Després de cada visita, el tècnic de PRL emet un informe on es descriu l'estat dels elements de prevenció de riscos laborals, medi ambient i gestió de la documentació de l'obra. La següent imatge mostra un fragment del document de seguiment periòdic que el tècnic de PRL omple en cadascuna de les seves visites a obra. Aquest document està dividit en tres apartats: PRL, medi ambient i qualitat. Dins de cadascun d'aquests apartats hi ha diversos capítols. El tècnic revisa l'estat de l'obra i marca "Sí", "No" o "No procedeix" en funció de l'estat de l'obra en relació a cadascuna de les qüestions plantejades en el document. Cada qüestió plantejada té un pes respecte la valoració final del document. L'objectiu és aconseguir un 100% de puntuació, que significa que l'equip d'obra està actuant correctament en matèria de seguretat, medi ambient i qualitat.

Si en aquest informe apareix alguna no conformitat, aquesta ha de ser resolta immediatament per l'equip d'obra. En l'exemple de la figura veiem que en l'apartat de



PRL no s'ha assolit un 100%, així que caldrà prendre les accions corresponents per a arreglar allò que en l'informe no ha tingut una qualificació favorable.




3. QUADRES ELÈCTRICS / GRUPS ELECTRÒGENS					10,00%	Valor Parcial
CONCEPTE					Valor	
SI	NO	NP				
3.1	Els quadres elèctrics i els grups electrògens, tenen dispositius de tall per intensitat de defecte (interruptors diferencials) i presa de terra?	X			4,00%	100,00%
3.2	Els quadres elèctrics i grups electrògens, estan situats en un lloc net, de fàcil accés i convenientment senyalitzats? es troben en bon estat? (tapes, reixes, etc.)	X			3,00%	
3.3	Els cables d'alimentació i els endolls (allargos) pels aparells elèctrics, estan en bon estat? (sense empalmes) tenen la IP adequada al seu ús (IP45 interior / IP55 exterior)?	X			3,00%	
7. ESTALVI DE RECURSOS					15,00%	Valor Parcial
CONCEPTE					Valor	
SI	NO	NP				
7.1	S'han reutilitzat terres aptes, per a terraplens, procedents de l'excavació d'altres obres o de la mateixa obra? En el cas d'haver-hi excedents, s'han gestionat per a ser utilitzats en usos similars en altres obres?	X			2,50%	100,00%
7.2	S'utilitzen àrids procedents del matxucatge de formigons, material ceràmic, etc., tant de la mateixa obra, com d'altres obres?		X		2,50%	
7.3	Es manté la instal·lació de l'aigua en un estat de manteniment correcte, per evitar fuites?	X			2,00%	
7.4	Es controlen els consums d'energia i subministrament? (H2O, llum, gasoil)	X			8,00%	
1. QUALITAT DE L'OBRA					100,00%	Valor Parcial
CONCEPTE					Valor	
SI	NO	NP				
1.1	Es disposa d'una <b>planificació</b> de l'obra i aquesta s'actualitza durant el transcurs de la mateixa?	X			15,00%	100,00%
1.2	S'han considerat els equips susceptibles de <b>calibratge</b> i es disposa de la documentació acreditativa pertinent?	X			10,00%	
1.3	Està documentat el <b>control de plànols</b> d'acord a la metodologia preestablerta?	X			20,00%	
1.4	Es registren de forma convenient les <b>modificacions de projecte</b> ?		X		10,00%	
1.5	Existeix <b>Programa de control de qualitat</b> i es realitza el seu seguiment?	X			10,00%	
1.6	Es complimenta el <b>Programa de Punts d'inspecció</b> que fa referència a la qualitat de la producció?	X			25,00%	
1.7	S'han documentat les <b>No Conformitats</b> generades a l'obra (aixecament, causes i acció correctora)?		X		10,00%	
	GESTIÓ DE LA PREVENCIÓ DE RISCOS LABORALS A L'OBRA				ESTAT PARCIAL	92,00%
	GESTIÓ MEDIAMBIENTAL A L'OBRA				ESTAT PARCIAL	100,00%
	GESTIÓ DE LA DOCUMENTACIÓ A L'OBRA				ESTAT PARCIAL	100,00%

Figura 16: Fragment del document de seguiment de PRL. *Elaboració pròpia.*

La redacció dels plans de seguretat i salut és també una tasca que fa el departament de prevenció de riscos laborals de l'empresa constructora. Aquests documents complementen els Estudis de Seguretat i Salut inclosos en el Projecte Executiu. Recullen indicacions de com realitzar els diferents treballs previstos amb seguretat, recorreguts en cas d'emergència, avaluació dels riscos laborals, etc. Aquest document, però, necessita el vist i plau del coordinador de seguretat i salut de la direcció facultativa.

La següent imatge mostra un fragment d'un pla de seguretat i salut on s'indiquen quines són les proteccions individuals i col·lectives necessàries quan s'està executant una estructura de formigó.

ORDENACIÓ DE LES ACTIVITATS	Mitjans auxiliars i/o màquines	Mitjans de protecció	Mitjans de prevenció
Estructura de formigó	Camió grua Camió formigonera Vibrador, Eines manuals, Contenidor, bastida tubular, plataforma elevadora..	Casc, guants, sabates de seguretat, protecció facial, roba de treball Arnes de seguretat amb doble ganxo (quan correspongui)	Protecció i senyalització zona de treball (malla taronja i/o cinta balisament). Baranes i proteccions perimetrals Línia de vida (quan correspongui). Roba alta visibilitat o armilla reflectant, xarxes de seguretat, xarxes de seguretat.

Figura 17: Fragment d'un pla de seguretat i salut. *Elaboració Pròpia*

## 4 El futur del sector de la construcció

En els apartats anteriors, el lector s'ha pogut fer una idea general de com ha funcionat fins ara i com continua funcionant actualment el sector de la construcció. Actualment existeixen tendències i metodologies que tenen per finalitat modernitzar el sector i aconseguir que els diferents agents que hi participin (promotors, projectistes i constructors) treballin d'una manera més coordinada i eficient. Es tracta del del *Building Information Modeling (BIM)* i de *Lean Construction*.

### 4.1 Building Information Modeling

El *Building Information Modeling (BIM)* és una metodologia de treball col·laborativa que té com a objectiu la creació i gestió d'un projecte de construcció. L'objectiu és agrupar totes les dades del projecte en un model digital. Tots els agents que intervenen en el procés de construcció i els usuaris de l'edifici són els encarregats de crear aquest model digital amb informació.

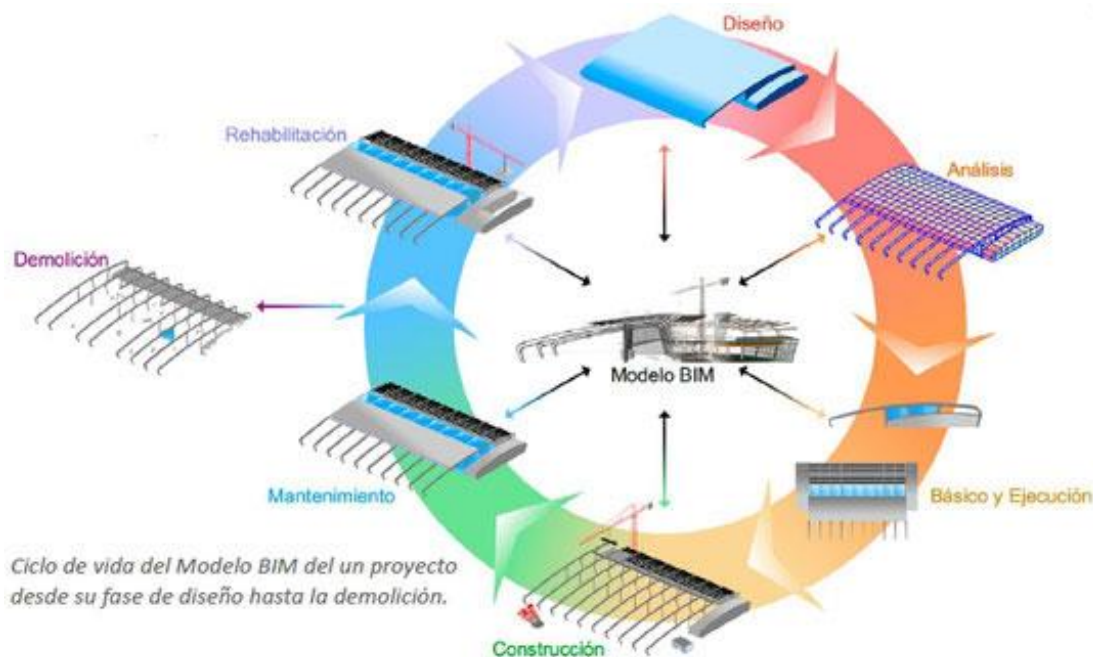


Figura 18: Cicle de vida d'un projecte BIM [3].

Aquesta tecnologia revolucionarà (de fet ja ha començat a fer-ho) la forma tradicional de fer projectes de construcció. La importància d'aquesta tecnologia és que es pot arribar a definir el projecte de manera exacta. Es dedica un gran esforç en construir un model digital tridimensional on intervenen totes les disciplines involucrades. Naturalment, el fet de que totes les disciplines treballin en el mateix model 3D permet millorar la comprensió del projecte i analitzar les interferències entre diferents agents.

Imaginem-nos doncs que el consultor d'estructures ha modelat els forjats en el model BIM. A continuació l'enginyer d'instal·lacions podrà dissenyar els baixants dels tubs de sanejament que creuen el forjat sense interferir en els elements estructurals més crítics. Avui en dia, amb el sistema convencional en CAD, aquestes interferències es produeixen de tant en tant ja que és més complicat que cada agent tingui tota la informació del projecte. A més, la filosofia BIM fa que com que tots els agents treballen en el mateix

model, si algú fa canvis en la seva part del model aquests canvis s'actualitzen i tothom treballa sempre amb la versió més actualitzada del projecte.

Una altra característica important del BIM és que no es modela amb dibuixos sinó que es modela amb objectes BIM. Aquests són elements constructius reals que fan referència als materials que es col·locaran en obra. Podríem dir doncs, que el que fa la tecnologia CAD és simular i millorar el que es pot fer amb un paper i un llapis. És a dir, és una eina de dibuix avançada (*Computer Assisted Design*). En canvi, BIM simula objectes reals.

Pel que fa a la construcció de l'edifici, el BIM també suposa un gran avenç ja que amb qualsevol tablet o ordinador portàtil podem veure a l'obra que tot s'està construint com diu el projecte. A més, el BIM facilita el procés de fer els amidaments per a fer comandes de materials i certificacions al promotor.

Segons diversos autors [4], els principals avantatges que proporciona dur a terme un projecte utilitzant la tecnologia BIM són:

- En un mateix prototip virtual coexistiran tots els elements que es materialitzaran a l'obra, amb els seus materials concrets i amb els detalls constructius. És a dir, es treballa amb elements constructius, i no amb línies, polilínies, blocs, etc... com es fa en CAD.
- Qualsevol element es crea en temps real en la vista activa i en la resta de vistes del projecte, és a dir, es treballa en 2D i 3D a la vegada.
- Treballar amb BIM permet la coordinació de tots els participants del projecte i la verificació instantània de les seves tasques per part del BIM Manager (coordinador del projecte que dona suport a totes les parts implicades en el disseny).
- Es podran analitzar les interferències entre els diferents components del model, tendint a que no es produeixin tants problemes a obra com es produeixen actualment.
- Amb la maqueta numèrica es podran dur a terme simulacions de les fases d'obra, millorant així la gestió del projecte en el moment d'execució.
- Un cop finalitzada l'etapa de construcció es disposarà d'un model *as-built* (tal com s'ha construït), mitjançant el qual es podrà controlar la gestió del manteniment de l'edifici. El que també es coneix com a *facility management*.
- Aparença gràfica molt espectacular de cara al client.
- Disminució del nombre de decisions que s'han de prendre en obra, ja que han estat preses en fase de projecte.
- Amb el treball en BIM, augmenta el temps per a realitzar el projecte, ja que s'obindrà com a resultat un model que contemplarà tots els detalls que es materialitzen en obra.
- Reducció del cost de materials gràcies a la reducció de residus de la construcció. El BIM permet una millor planificació així que es pot demanar el material de manera més acurada.
- Capacitat de canvi gràcies a la gran facilitat d'actuació que ens permeten tots els programes informàtics que treballen amb aquesta tecnologia, entre altres coses per les seves capacitats de modelat i restriccions paramètriques.
- Capacitat de consultar i interoperar amb les dades que conté el nostre model virtual. Nosaltres veiem aquest model com un programa de treball en 3D, però realment és molt més, perquè va guardant totes les dades que ens interessin d'aquest model, que s'acaba comportant com un contenidor d'informació. En

la Figura 19 es mostren els tipus de dades que se solen incorporar en un model BIM.

- Capacitat d'anticipació als resultats de *comissioning*, que es la fase de prova dels sistemes implicats en una construcció del tipus que sigui. Com que el model BIM pot guardar dades físiques dels elements constructius i de les instal·lacions, podem simular el comportament de tot l'edifici abans de construir-se. D'aquesta manera, el *comissioning* deixa de ser una fase de pors, incerteses i correccions costoses. Passa a ser un mer tràmit legal.
- Interoperabilitat del nostre model BIM amb BAS (*Building Automation Systems*). En aquest cas, un sistema domòtic del nostre edifici pot agafar dades del model BIM i viceversa.

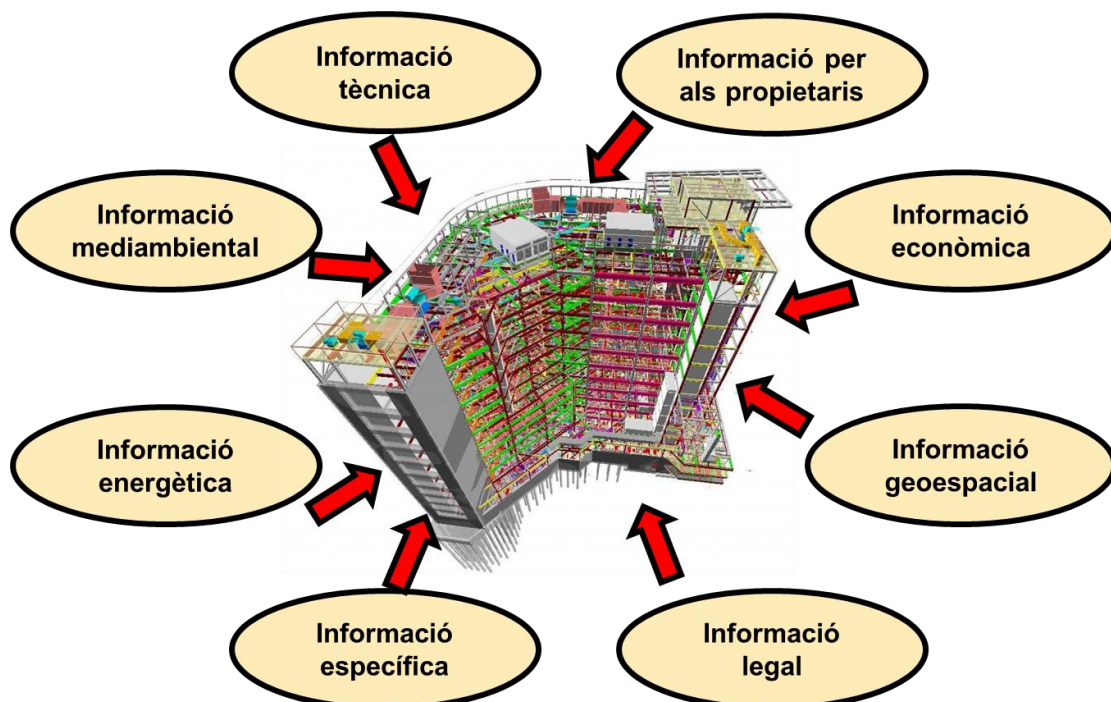


Figura 19: Tipus de dades que es solen incorporar en un model BIM. *Elaboració pròpia.*

Com es pot veure en la figura anterior, existeixen molts tipus d'informació que pot contenir un model BIM. Com veurem més endavant, els models BIM poden tenir diferents nivells de definició. El que si és importat és que tot model BIM contingui la geometria de l'edifici. Això significa que quan modelem hem de reservar l'espai adequat per a cadascun dels elements constructius que hi inserim. D'aquesta manera podrem visualitzar l'espai que ocuparan aquests en la realitat. Això ens permetrà tenir un control tridimensional a la hora de col·locar nous elements i comprovar gràficament si aquests interfereixen o no amb els elements ja inserits al model. L'exemple esmentat anteriorment sobre l'enginyer d'instal·lacions que tenia ja el forjat modelat i per tant podia col·locar els baixants en regions que no interferissin amb elements estructurals feia referència a aquest fet. En la Figura 20, Figura 21, Figura 22 i Figura 23 veiem un model BIM d'una estructura d'acer d'un edifici que entra en conflicte amb els conductes de clima. Observem que el software (en el cas de l'exemple Tekla BIMsight) detecta la col·lisió entre una biga i un conducte de clima.



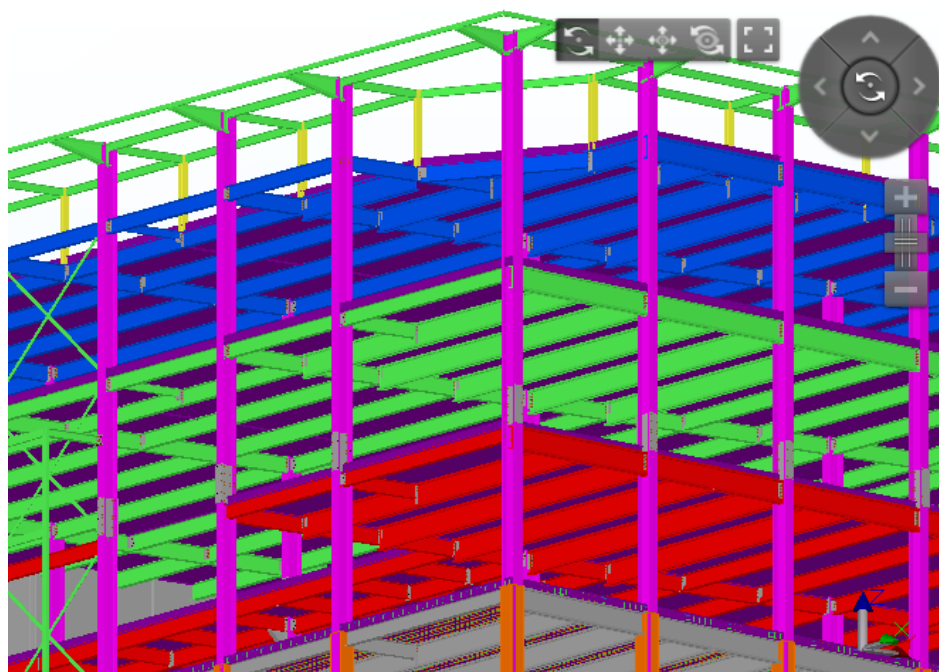


Figura 20: Estructura en un model BIM. Tekla BIMsight demo project v1.9.

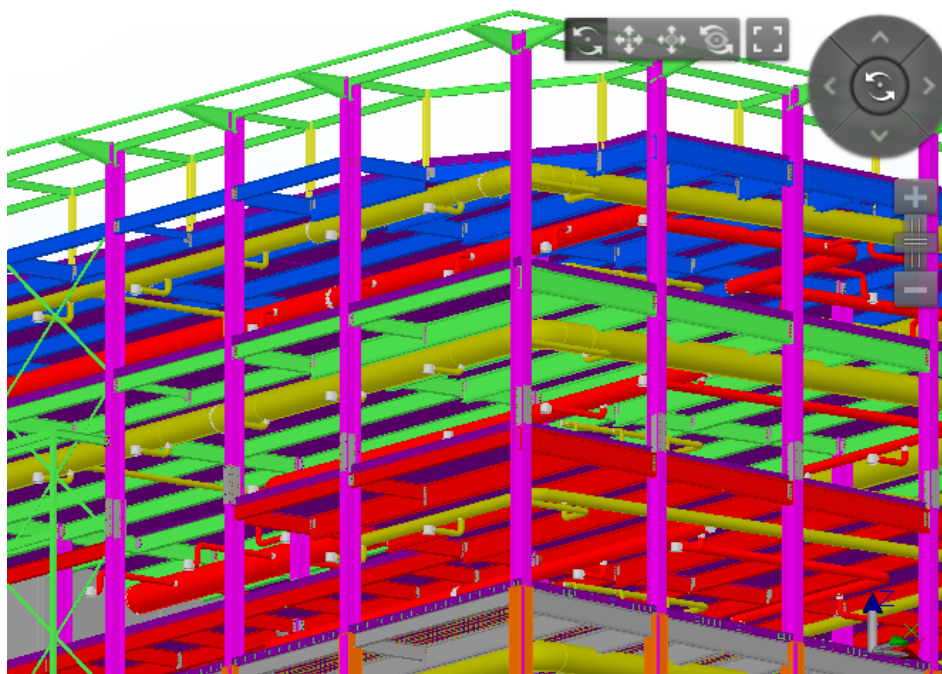


Figura 21: Estructura i instal·lacions en un model BIM. Tekla BIMsight demo project v1.9.

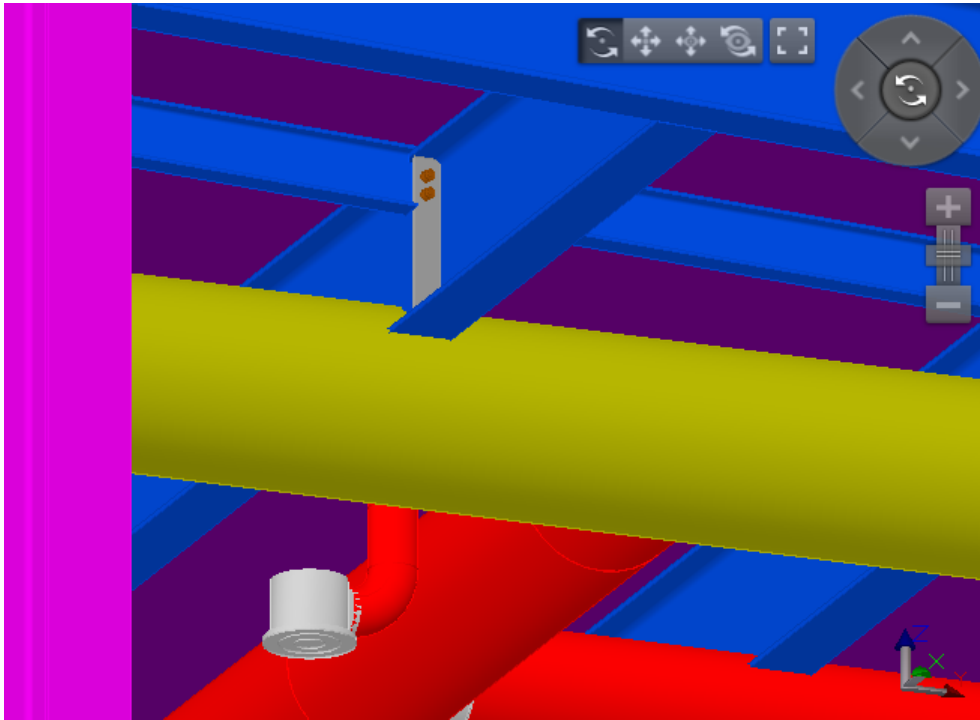


Figura 22: Col·lisió entre conducte de clima i biga. Tekla BIMsight demo project v1.9.

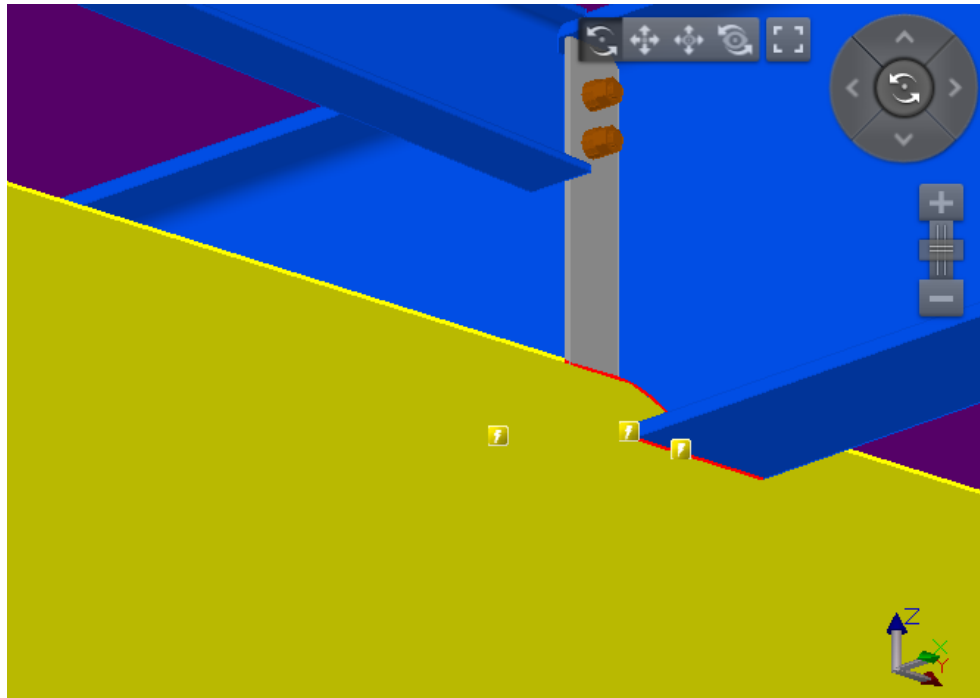


Figura 23: Detecció de la col·lisió per part del software BIM. Tekla BIMsight demo project v1.9.

El model també ha de contenir informació geogràfica (o geoespacial). Això significa localitzar-lo en una posició determinada per a poder fer estudis energètics precisos amb la climatologia local i la orientació de l'edifici.

Finalment, el model sempre tindrà informació de les quantitats de cada element que hi apareix i característiques d'aquests elements.

#### 4.1.1 Objectes i famílies BIM

En la Figura 24 podem veure tres exemples d'objectes BIM: una finestra de fusta de dos batents, un fragment de mur cortina i un perfil IPN.

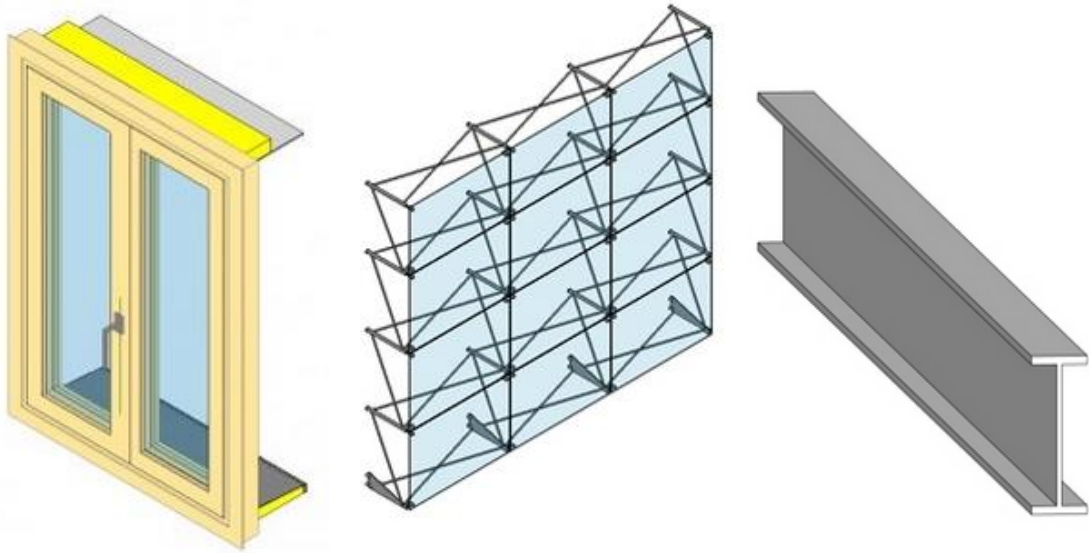


Figura 24: Exemples d'objectes BIM [5]

Qualsevol d'aquests objectes compta amb un munt de paràmetres diferents com poden ser les dimensions geomètriques, el factor solar dels vidres, el tipus d'acer del perfil, el material de l'empit de la finestra, etc.

És evident que en un edifici podem tenir repeticions del mateix objecte en tot l'edifici. Per exemple, si l'estructura és metàl·lica tindrem molts perfils IPN. És possible també que no tots aquets perfils siguin de la mateixa secció ni de la mateixa longitud. El concepte de Família en BIM seria per exemple: "IPN 500". Tots els elements d'aquesta família compartiran algunes propietats comunes com per exemple el tipus de material, la inèrcia etc. Però és possible que tinguem perfils IPN de diferents longituds, això crearà diversos tipus dins la família: IPN 500 de 5 metres, IPN 500 de 3,5 metres, etc.

Un cop inserim aquesta família d'objectes en el model podrem generar un amidament de quants perfils de cada tipus hi ha al model, en quin forjat es troba cada un i qualsevol altra informació que es pugui deduir dels paràmetres implícits que tenen els objectes i de la seva posició en el model.

Recordem que en el treball en BIM és un treball 3D amb elements constructius, no amb línies com en CAD, per tant el control de la informació inclosa en el model és vital per aconseguir l'èxit.

Com obtenim, doncs els objectes i les famílies BIM? Naturalment, el projectista pot dissenyar els objectes BIM que consideri oportuns; però també existeixen bases de dades lliures i gratuïtes amb objectes BIM genèrics. A més, per motius comercials, les empreses fabricants de productes constructius molt sovint també tenen disponibles objectes BIM que fan referència als seus models concrets.

Com hem pogut veure, el nivell de detall i informació que pot arribar a tenir un model BIM és molt elevat. Com és normal, no sempre és necessari arribar a un nivell de detall i informació així.

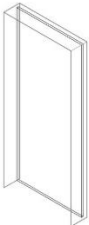
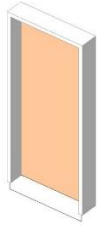
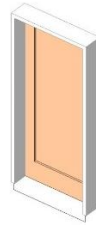
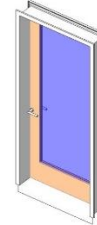



Cal establir uns paràmetres per a determinar l'estat d'evolució del model. En el món BIM aquest concepte es coneix com a *Level of Development* (LOD):

- **LOD100 (concepte visual, 20% d'informació):** L'objecte modelitzat representa la seva aparença física, sense cap informació addicional.
- **LOD 200 (disseny desenvolupat o esquemàtic, 40% d'informació):** L'objecte modelitzat té una dimensió geomètrica parametritzada determinada, és a dir, necessitats d'espai dins del model. Pot ser gràficament menys realista que un LOD 100 però la informació és més relevant. No sabem com serà la porta visualment, però si que en sabem les mides i les podem a l'objecte.
- **LOD 300 (documentació, 60% d'informació):** L'objecte, a més de les seves dimensions, té una descripció determinada.
- **LOD 400 (construcció, 80%):** L'objecte modelitzat, juntament amb les característiques descrites anteriorment, té paràmetres d'un model en concret, un fabricant, un número de sèrie, un cost, etc.
- **LOD 500 (element real, 100% informació):** A més de les característiques anteriors, l'objecte és el que existeix realment en l'edifici real, incloent el proveïdor, el fabricant i la data d'adquisició.

En veiem un exemple en la següent taula:

Taula 1: Exemple de diferents LOD d'una porta. *Elaboració pròpia.*

LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
<b>Descripció:</b> Porta	<b>Descripció:</b> Porta	<b>Descripció:</b> Porta de de vidre amb marc de fusta	<b>Descripció:</b> Porta de de vidre amb marc de fusta	<b>Descripció:</b> Porta de de vidre amb marc de fusta
<b>Amplada:</b>	<b>Amplada:</b> 90 cm	<b>Amplada:</b> 90cm	<b>Amplada:</b> 90cm	<b>Amplada:</b> 90cm
<b>Profunditat:</b>	<b>Profunditat:</b> 10cm	<b>Profunditat:</b> 10cm	<b>Profunditat:</b> 10cm	<b>Profunditat:</b> 10cm
<b>Alçada:</b>	<b>Alçada:</b> 200cm	<b>Alçada:</b> 200cm	<b>Alçada:</b> 200cm	<b>Alçada:</b> 200cm
<b>Fabricant:</b>	<b>Fabricant:</b>	<b>Fabricant:</b>	<b>Fabricant:</b> A.C.M.E	<b>Fabricant:</b> A.C.M.E
<b>Cost:</b>	<b>Cost:</b>	<b>Cost:</b>	<b>Cost:</b> 300€	<b>Cost:</b> 300€
<b>Data de compra:</b>	<b>Data de compra:</b>	<b>Data de compra:</b>	<b>Data de compra:</b>	<b>Data de compra:</b> 22/4/19

#### 4.1.2 Software BIM

No és l'objectiu d'aquest apartat aprofundir en la infinitat de programes que empren la tecnologia BIM, però si donar una idea al lector de quins són els principals tipus de software i les seves principals diferències.

Els orígens del BIM es remunten a l'any 1984, quan l'empresa hongaresa Graphisoft va implementar en el seu programa Archicad la capacitat de fer un CAD tant 2D com 3D. L'any 2002 l'empresa Autodesk (propietària del celeberrim software Autocad) va adquirir l'empresa texana Revit, també pionera del BIM. Així doncs, actualment els dos principals softwares utilitzats pels projectistes per a modelar en BIM són Revit i Archicad.



Figura 25: Logotips d'Archicad i Revit. *Elaboració pròpia..*

El National BIM Report de 2019 [6] publica els resultats d'una enquesta realitzada al Regne Unit (un dels països capdavaners en la implantació de la metodologia BIM a Europa, com veurem més endavant) que revela que els dos softwares més utilitzats pels projectistes són Autodesk Revit (70%) i Graphisoft Archicad (15%). Veure Figura 26.

When producing drawings or models, which of the following tools do you mainly use?

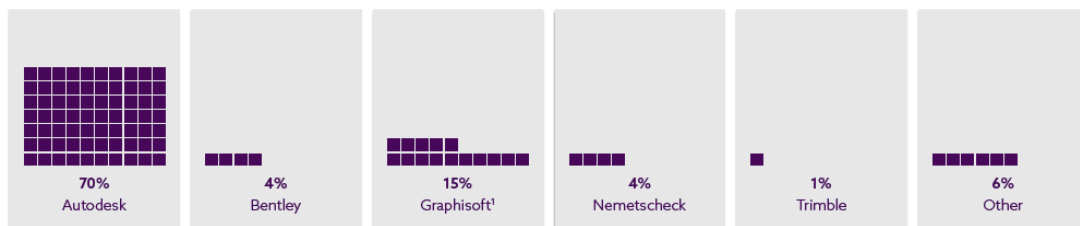


Figura 26: Softwares BIM més utilitzats al Regne Unit. *National Bim Report 2019.*

Naturalment, existeixen molts altres softwares disponibles al mercat, molts d'ells enfocats a algunes disciplines concretes com poden ser per exemple el càlcul d'estructures on trobem programes com Advance Steel d'Autodesk o bé Tekla Structures.

##### 4.1.2.a BIM 4D

Pel que fa a l'àmbit de la planificació de l'obra, els softwares BIM ofereixen moltes possibilitats ja que una de les claus del BIM és la construcció virtual abans de la física. Entenent el BIM com un software 3D, si afegim la dimensió temporal obtenim el BIM 4D.

Existeixen softwares BIM com Navisworks, Synchro o Vico Office que permeten crear una planificació 4D a partir del model BIM. Això significa que es poden crear simulacions animades del procés de construcció de l'edifici. D'aquesta manera serem capaços de veure quin serà el procés de construcció pas a pas i poder planificar les fases del procés de la manera més òptima. Com que podem fer simulacions animades del que

hem planificat, podem detectar interferències entre colles de diferents oficis i planificar d'una manera més eficient, per exemple.

Hem de tenir en compte que per a poder aplicar la planificació 4D, prèviament hem de modelar l'edifici de manera que puguem subdividir el model en entitats separades a les que aplicar la variable del temps. Això implica una col·laboració entre el projectista i el constructor.

#### 4.1.2.b BIM 5D

La cinquena dimensió del BIM consisteix en generar amidaments i definir costos dels elements del model. Amb la integració de softwares de pressupostos com Presto amb softwares BIM com Revit es poden generar pressupostos i certificacions classificant les partides d'una manera molt més àgil que com es fa de la manera tradicional.

La idea del BIM 5D és arribar a poder certificar els treballs realitzats a obra mensualment a partir del model BIM: seleccionant al model els elements que s'han construït durant el mes i que estaran associats a unes partides determinades del pressupost.

#### 4.1.2.c BIM 6D

Un model de BIM 6D [7] és un model 5D al que s'ha afegit una nova dimensió: la sostenibilitat. Els projectes BIM 6D són aquells on s'estudien aspectes com l'estalvi energètic i el disseny sostenible. Un model 6D permet la integració de softwares que permetin fer simulacions i càlculs numèrics per a determinar el comportament energètic de l'edifici. Si el model 6D es desenvolupa abans de la construcció es podran fer tots els canvis necessaris en l'estructura, els tancaments i les instal·lacions per a poder fer un edifici més sostenible i amb menys costos energètics.

#### 4.1.2.d BIM 7D

Un model BIM 7D [8] és aquell model en el que s'ha afegit la gestió del manteniment durant el cicle de vida de l'edifici. En els diferents objectes BIM del model es pot afegir informació sobre quan s'han de realitzar els manteniments periòdics dels equips, cada quan s'han de canviar els materials fungibles, etc. La idea és fer del model BIM un arxiu *As Built* que doni tota la informació necessària als propietaris de l'edifici.

#### 4.1.2.e Open BIM

Com hem pogut veure existeixen molts softwares que permeten treballar sobre un model BIM fent diverses funcions. Empreses com Autodesk tenen a disposició dels usuaris diversos programes com Revit, Navisworks, Advanced Steel, Revit Structures, etc. D'aquesta manera, com que tots els programes surten de la mateixa matriu la integració entre uns i altres és fàcil. No obstant, això restringeix l'ús de programes que podem utilitzar.

Building Smart [9] és una associació sense ànim de lucre integrada per diferents agents del sector de la construcció d'arreu del món com despatxos d'arquitectura, enginyeries, empreses constructores, etc. Aquesta associació promou l'intercanvi d'informació BIM en formats oberts anomenats IFC (*Industry Foundation Classes*).



Figura 27: Logotip de Building Smart. *Buildingsmart.es*

La idea és que treballem amb el software que treballem, puguem generar un arxiu IFC que pugui ésser obert per qualsevol altre software, de manera que tots els implicats en el projecte BIM puguin tenir accés a la informació sense necessitat de treballar amb el mateix software.

Això no impedeix que quan nosaltres obtenim informació del model a partir d'un arxiu IFC amb un software determinat només siguem capaços de modificar el model en allò que permet el software. És a dir, si obrim un arxiu IFC amb un programa d'anàlisi d'estructures BIM no podrem modificar les instal·lacions, per exemple.

L'existència dels arxius IFC i el corrent de l'Open BIM ha generat l'aparició de visors BIM gratuïts que permeten obrir i visualitzar arxius IFC. Aquets softwares, com per exemple Tekkla BIMsight o BIMvision són útils a peu d'obra per a visualitzar el model i entendre detalls constructius. Els podríem entendre com un visor d'arxius PDF, en que podem llegir el text però no hi podem fer cap modificació.

#### **4.1.3 Estat actual del BIM**

Els Estats Units d'Amèrica, Canadà, el Regne Unit i els països escandinaus són els més avançats pel que fa a l'ús de la tecnologia BIM, on és una pràctica habitual i consolidada des de fa alguns anys. Per exemple, als EUA l'ús del BIM en projectes públics és obligatori des del 2007.

A Europa el país capdavanter en l'adopció del BIM és el Regne Unit, on segons l'última enquesta publicada al *National BIM Report 2019* vist anteriorment, un 69% dels projectistes utilitza la metodologia BIM.

Pel que fa a l'estat espanyol, la Unió Europea obliga a utilitzar la tecnologia BIM en tots els projectes de contractació pública des de desembre de 2018.

L'últim informe [10] publicat per *es.BIM*, associació destinada a promoure l'ús del BIM a Espanya, determina que durant el 2018 l'ús del BIM en l'administració va començar a consolidar-se. El nombre de licitacions públiques que incloguessin l'ús del BIM es va duplicar respecte l'any anterior.

Catalunya i el País Basc són capdavanteres en el volum d'inversions en licitacions públiques en requisits BIM. L'any 2018 es van invertir 239,18 milions d'euros en licitacions públiques d'edificació amb requeriments BIM; el que suposa un 4,3% de la inversió total en edificació. Pel que fa al sector de les infraestructures es van invertir 138,31 milions d'euros; un 1,2% de la inversió total del sector.

Així doncs, a l'estat espanyol encara queda un gran camí per recórrer. Tot i així el BIM s'està consolidant com una tecnologia que revolucionarà el món de la construcció i tots els professionals que s'hi dediquin hauran d'adaptar-se a la nova manera de procedir.

#### 4.1.4 Ús del BIM en la construcció de la Biblioteca de l'Almeda

La biblioteca de l'Almeda va tenir la fase de projecte i licitació abans de desembre de 2018, per tant l'ús del BIM no era obligatori. No obstant, amb l'objectiu de fomentar i habitar-se en l'ús del BIM, els arquitectes de l'Àrea Metropolitana de Barcelona van confeccionar un model de la biblioteca de l'Almeda.

Es tractava d'un model amb un baix LOD on no hi havien intervingut els tècnics d'estructures i instal·lacions. Es va modelitzar a partir dels plànols de projecte fets amb CAD de la manera tradicional.

Evidentment, no es tractava d'un arxiu vàlid per a construir ja que no formava part de la licitació. Tot i així, molt amablement, l'AMB va cedir aquest model a l'equip d'obra de Constructora de Calaf S.A.U. Es va generar un arxiu IFC per a poder ésser obert amb visors gratuïts com BIMvision i Tekkla BIMsight.

Aquest document va servir de gran ajuda per a visualitzar l'edifici i resoldre dubtes d'alguns detalls constructius difícils d'interpretar en els plànols 2D.

Al tractar-se d'un arxiu IFC obert amb un visor gratuït no era possible la modificació de la informació continguda en el model. Això no va suposar cap inconvenient, sinó el contrari: l'OpenBIM i els arxius IFC són una eina molt bona per a ésser utilitzada pel personal d'obra. Ja que amb els visors BIM es poden generar totes les vistes necessàries, treure capes d'objectes (per exemple, per a veure l'estructura), fer talls en l'edifici per a generar totes les seccions desitjades, etc.

Tot això comporta un cost mínim ja que només calen visors gratuïts. A més, tant BIMvision com Tekkla BIMsight poden ésser fàcilment utilitzats per tothom ja que la interfície d'usuari és senzilla i intuïtiva. En veiem alguns exemples a continuació:

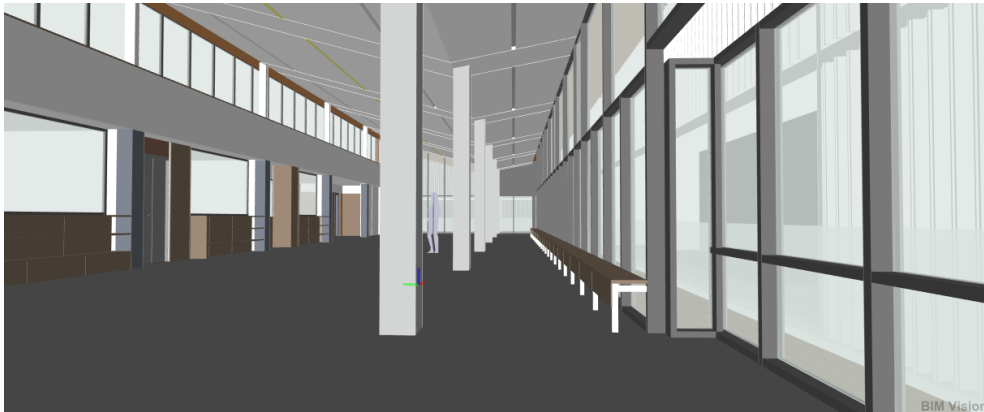


Figura 28: Interior de la biblioteca de l'Almeda. Model BIM de la Biblioteca.



Figura 29: Exterior de la biblioteca de l'Almeda. *Model BIM de la Biblioteca.*



Figura 30: Exterior de la biblioteca de l'Almeda. *Model BIM de la Biblioteca.*



Figura 31: Tall de secció de la biblioteca de l'Almeda. *Model BIM de la Biblioteca.*



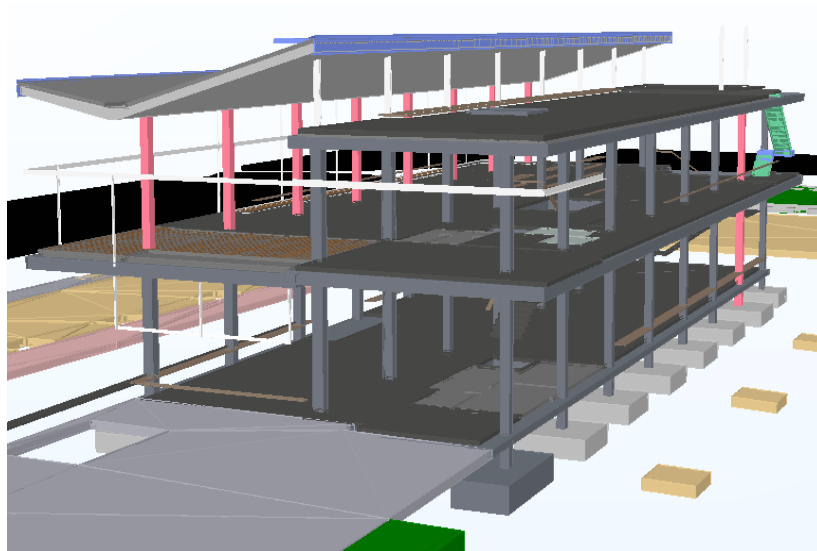


Figura 32: Estructura de la biblioteca de l'Almeda. *Model BIM de la Biblioteca*

Així doncs, l'OpenBIM resulta de gran interès per a les empreses constructores ja que amb una mínima inversió es pot dotar un gran nombre de personal amb mitjans per a treballar usant BIM. És cert que a les oficines tècniques cal una inversió molt més elevada en llicències per a softwares com Revit, Archicad, etc. Però el personal a peu d'obra només necessita poder veure el model, no modificar-lo.

Més endavant, quan la implementació del BIM sigui més elevada, es podrà planificar els treballs i certificar amb BIM; cosa que implicarà softwares de més nivell per als equips d'obra. No obstant, ara per ara dotar al personal d'obra de visors que puguin obrir un arxiu IFC és un pas endavant que es té molt a l'abast.

## 4.2 Lean Construction

La filosofia del *Lean Management* va néixer en la indústria automobilística. Concretament a l'empresa Toyota, durant les dècades dels 50 i 60. En aquest moment es va desenvolupar com el sistema de producció d'aquesta marca japonesa de la mà de Taiichi Ohno.

La multinacional Toyota va ser capaç de reduir els costos de producció augmentant la qualitat i la seguretat gràcies a la implementació d'un sistema de gestió i producció diferent. Per això, no han deixat de millorar des de 1945 i han aconseguit ser una de les empreses líders mundials en la fabricació d'automòbils quan l'any 1990 eren la meitat de grans que General Motors.

Durant els anys 80 i 90 la metodologia que havia utilitzat Toyota va adoptar el nom de Lean i es va estendre a la resta d'indústries. Avui en dia, aquesta proposta productiva està considerada com el model productiu del segle XXI.

La idea bàsica de la filosofia Lean és que en qualsevol projecte existeixen 3 tipus de tasques:

- Tasques que aporten valor al client.
- Tasques que no aporten valor al client però que són necessàries.
- Tasques innecessàries i que no aporten valor al client.

Tradicionalment, les millores es centren en optimitzar les tasques que aporten valor quan realment és molt més fàcil centrar els esforços en augmentar la proporció del temps dedicat a les tasques que aporten valor davant de les que no n'aporten. En definitiva, eliminar les tasques que no aporten valor.

Segons la filosofia Lean, aquest fet no es produeix perquè els treballadors de diferents departaments han interioritzat com a productives i necessàries activitats que no ho són.

La metodologia Lean ens ajuda a concretar quines activitats signifiquen valor afegit i per tant dirigir l'empresa en la direcció correcta en el moment de centrar els seus recursos.

Un cop localitzat el que es valor per al nostre client, els treballadors es reestructuren formant grups autònoms de producció amb l'objectiu d'obtenir-lo. Per a fer això cal implementar un sistema de gestió d'aquests equips. Cal canviar també la concepció sobre qui és el client. El pensament Lean considera clients a tots els participants en el procés, ja siguin pertanyents a l'empresa o externs.

Els clients externs són els destinataris del producte (els clients tradicionals) però a més es consideren clients interns tots aquells que necessitin el treball d'un grup per a fer el seu. Traslladant aquest concepte al sector de la construcció, podríem dir que els muntadors de ferralla són clients dels encofradors, ja que per a ferrallar un element estructural sovint cal haver muntat l'encofrat primer.

També és important remarcar que la filosofia Lean pretén que es treballi *just in time*. Per això cal canviar la clàssica filosofia *push* per una filosofia *pull*. Explicat de forma simplificada, això significa que la filosofia *push* es basa en produir el màxim el més ràpid possible i passar el bé produït al pròxim eslavó de la cadena. En canvi, la filosofia *pull* fomenta la producció justa per a que el següent eslavó de la cadena pugui anar treballant sense parar però mai amb estoc acumulat.



Així doncs, l'aplicació del Lean Management comporta els següents beneficis:

- Creació d'un flux d'operacions ràpid i sense interrupcions.
- Generació d'una planificació flexible capaç d'adaptar-se a les condicions canviants i els problemes que puguin sorgir.
- Treball *just in time*; reducció de desperdici i estocs.
- Entorns laborals més segurs.
- Àrees més netes i ordenades.

La filosofia de Lean Management esmentada anteriorment va ser concebuda per Toyota, és a dir, per a l'indústria manufacturera. Una indústria on els processos es repeteixen. A base dels errors, els prototips i l'aprenentatge continu es pot optimitzar fàcilment la manera de treballar.

Aquest no és el cas del sector de la construcció, on cada edifici es fa per primera i última vegada de manera individualitzada. La Taula 2 recull les diferències entre la indústria manufacturera i el sector de la construcció. A continuació es mostren alguns dels problemes que poden sorgir en la manera tradicional de treballar en el sector de la construcció:

- Temps d'espera excessiu degut a equips, eines o materials insuficients..
- Temps d'espera a causa d'activitats anteriors inacabades o mal realitzades.
- Temps d'espera per falta d'instruccions correctes per a dur a terme la tasca.
- Temps d'inactivitat a causa de l'actitud del treballador o l'excés del nombre de treballadors en una àrea determinada de treball (es genera sobreproducció en moments puntuals).
- Desplaçaments innecessaris provocats per recursos insuficients i per falta d'una planificació adequada.
- Acumulació de materials en terminis no adequats (es generen magatzems i inventaris innecessaris).
- Retards per incompliment de les especificacions i canvis en el disseny.
- Ineficiència deguda a que colles de diferents oficis han de treballar en la mateixa zona i es generen interferències.
- Falta de comunicació entre l'empresa constructora, el promotor, la direcció facultativa i els contractistes.

Taula 2: Diferències entre la indústria manufacturera i la indústria de la construcció.  
 Ayats Pérez, C. (2015). *Lean. [El Ejido]: Círculo Rojo.* [11]

	<b>Indústria manufacturera</b>	<b>Construcció</b>
<b>Prototip i producte</b>	Abans de treure un producte al mercat, es fabrica un prototip que s'estudia, es prova i es treballa.	L'edifici es construeix una sola vegada. No es pot provar, assajar ni estudiar el producte abans de la seva sortida al mercat.
<b>Entorn</b>	L'entorn de treball es pot controlar, és interior i sempre es repeteixen condicions similars de recursos humans i tècnics.	L'equip té un menor control sobre l'entorn de treball (que per exemple, és exterior), fet que augmenta la variabilitat i complexitat del sistema.
<b>Empreses</b>	Principalment, una única empresa participa en el procés.	Habitualment, moltes empreses participen en el procés.
<b>Equip</b>	L'equip és sempre el mateix.	L'equip varia amb cada projecte (en cada projecte participen diverses empreses)
<b>Treball</b>	En el procés de creació de productes, el treball és repetitiu. Fet que fa fàcil la detecció de problemes i possibles millores.	En el procés de creació del producte, el treball s'ha d'anar adaptant a cada situació específica, fet que dificulta la detecció de problemes i possibles millores.
<b>Aprenentatge i experiència</b>	Com que es tracta d'un procés repetitiu, l'equip aprèn i les experiències són similars, per això aplicar millores és més senzill.	Els processos s'adapten a cada situació, per tant les experiències difereixen dins la mateixa empresa. Per això, aplicar millores és més complex.

És per això que cal adaptar el Lean Management al sector de la construcció. El seguit de tècniques per implementar Lean Management a la construcció són el que es coneix com a Lean Construction.

#### 4.2.1 Last Planner System (LPS)

El *Last Planner System* és una eina de planificació associada a *Lean Construction* que té com a finalitat desenvolupar un projecte constructiu des d'un punt de vista *pull*. L'objectiu és aconseguir que cadascun dels agents que intervenen a l'obra no es centri en fer la seva part sense tenir en compte les interferències que la seva decisió pugui provocar sobre les feines dels altres subcontractistes.

Una planificació de tipus *pull* centra l'atenció en l'última acció a prendre abans de finalitzar tot el treball. Llavors, es determinen quines són les tasques prèvies que permeten poder començar l'acció. Totes les tasques predecessores han d'estar completades abans d'iniciar l'acció per a assegurar-se que aquesta es pot completar.

Si cada subcontractista només té com a referència el que ha de fer, aquest tractarà de fer-ho quan a ell li interessi exclusivament. El LPS és un sistema que pretén incloure als diferents industrials i proveïdors en la planificació de l'obra que fa el contractista principal. Amb la col·laboració dels subcontractistes, que ajuden a fer una estimació realista de la durada dels seus treballs, es pot aconseguir una millor coordinació (*just in time*) i per tant un estalvi econòmic i temporal.

Aconseguir aquest ambient col·laboratiu no sempre és fàcil, ja que el sector de la construcció arrossega una inèrcia acumulada durant molts anys i és fàcil sentir expressions com: "Això funciona a la indústria, però a l'obra les coses van diferent..." o bé "Això sempre s'ha fet així". No obstant, els resultats que hem obtingut en el projecte executiu de la Biblioteca de l'Almeda han estat satisfactoris, la planificació conjunta amb els subcontractistes ens ha permès anticipar-nos i ser més eficients a la hora de demanar materials i evitar temps improductius.

Precisament el nom de *Last Planner System* (sistema de l'últim planificador) ens indica que en la planificació hi participen els últims esclavos de la cadena de producció: els responsables de cadascun dels oficis que intervenen a l'obra [12].

Aquests són qui millor coneixen la realitat del que s'està fent cada setmana, els qui saben quant personal poden assignar, els mitjans de que poden disposar i el rendiment dels seus treballadors. Així doncs, en què consisteix el *Last Planner System*?

- **Planificació anticipada:** No es pot autoritzar cap activitat per dur-se a terme en una data concreta si no es té la seguretat que les restriccions que ara mateix la impedeixen no es poden solucionar a temps. D'aquesta manera assurem que els problemes apareixeran abans i no en el moment de fer la feina.

Per exemple, imaginem que estem pendants de demanar el ferro per a unes jàsseres però el cantell d'aquestes encara ha de ser confirmat per la DF degut a que hi ha hagut canvis respecte el projecte inicial. Nosaltres creiem que en qüestió de dos dies tindrem la consulta resolta, així que sabent que el ferro muntat a taller tarda una setmana en arribar a obra des de que fem la comanda, convoquem els encofradors per d'aquí 10 dies. Si el detall de la jàssera no ens arriba a temps no podrem demanar el ferro i els encofradors hauran de venir més tard del dia que els havíem dit. És possible que degut a l'incompliment de la planificació per part nostra, els encofradors vagin a fer feines a una altra obra i llavors s'endarrereixin una setmana.

Si en lloc de fer això que acabem de dir el que fem és centrar els esforços en obtenir el detall el més aviat millor, en el moment que el tinguem podrem planificar amb els industrials de manera realista i el planning es complirà. Per tant, només podem planificar accions per a la propera setmana si sabem del cert

que no hi ha restriccions o que aquestes estaran resoltes abans de l'inici dels treballs. Fer la planificació a diverses setmanes vista amb la participació de tots els industrials implicats ens ajuda a detectar restriccions amb antelació suficient per a traslladar-les a la direcció facultativa. D'aquesta manera podem fer que la DF centri els seus esforços en resoldre les restriccions que més ens urgeixen.

- **Compromís amb la planificació:** El PPC (percentatge de pla completat) és un indicador que avalua si el transcurs de l'obra s'adequa a la planificació feta prèviament. El projectes fets amb LPS tenen un PPC del 85% enfront al 50% dels projectes convencionals. Cal que tothom sigui sincer i realista a la hora de planificar i estimar la duració dels treballs. No s'hi val dir sempre que si a tots els terminis si se sap que no es poden complir. Per altra banda, tampoc és eficient generar "buffers" temporals que augmentin els terminis estimats per a assegurar-se que es compleix el termini ja que d'aquesta manera es generen temps improductius.
- **Aprenentatge:** Cada setmana, el pla de treball de la setmana anterior és revisat per a determinar quines tasques (compromisos) s'han completat. En cas de que el compromís no es completi, s'analitzen els motius de per què ha estat així. Aquests motius són analitzats periòdicament fins a trobar l'arrel del problema i es prenen accions per a que no es repeteixi.

En el cas de les obres de la Biblioteca de l'Almeda el que s'ha fet ha estat instal·lar en una de les casetes d'obra una pissarra dividida en 4 setmanes amb els cinc dies laborables de cadascuna d'elles. A cadascun dels agents que intervenen a l'obra (DF, equip d'obra i subcontractistes) se li ha signat un bloc de notes adhesiu amb paper d'un color determinat.

Periòdicament s'han efectuat reunions entre l'equip d'obra i la resta d'agents implicats (sobretot subcontractistes) on entre tots s'ha estimat la durada de les accions a prendre. Per a representar una acció de determinada, s'ha enganxat un paper del color corresponent amb l'acció escrita en cadascun dels dies en que s'estima que durí l'acció. D'aquesta manera es pot representar de manera visual el que es farà cada dia amb 4 setmanes d'antelació i quins seran els solapaments entre col·les de diferents oficis que hi haurà cada dia. A la Figura 34 es mostra una foto d'aquesta pissarra.

La Figura 33 mostra un esquema de la pissarra dividida en quatre setmanes. La planificació consisteix en aconseguir que totes les activitats de la setmana vinent puguin començar i acabar ja que totes les restriccions que les impedeixen han estat solucionades.

	Setmana 1					Setmana 2					Setmana 3					Setmana 4				
	DL	DM	DX	DJ	DV	DL	DM	DX	DJ	DV	DL	DM	DX	DJ	DV	DL	DM	DX	DJ	DV
Equip d'obra																				
Subcontractista 1																				
Subcontractista 2																				
Subcontractista 3																				
Subcontractista 4																				
Subcontractista 5																				

Figura 33: Esquema de la pissarra de LPS. *Elaboració pròpia.*

Per tant, les activitats programades en la setmana 1 són inalterables. Durant la setmana prèvia a la 1 i durant la mateixa setmana 1 es poden modificar les accions programades en les setmanes 2, 3 i 4 si es té la certesa que les accions no es produiran tal com estan a la pissarra.

D'aquesta manera sempre ajudem a que els treballs de la setmana vinent es puguin dur a terme sense restriccions i tenim presents les pròximes setmanes per a poder ajustar-ne la planificació i adonar-nos de quins impediments han de ser solucionats.

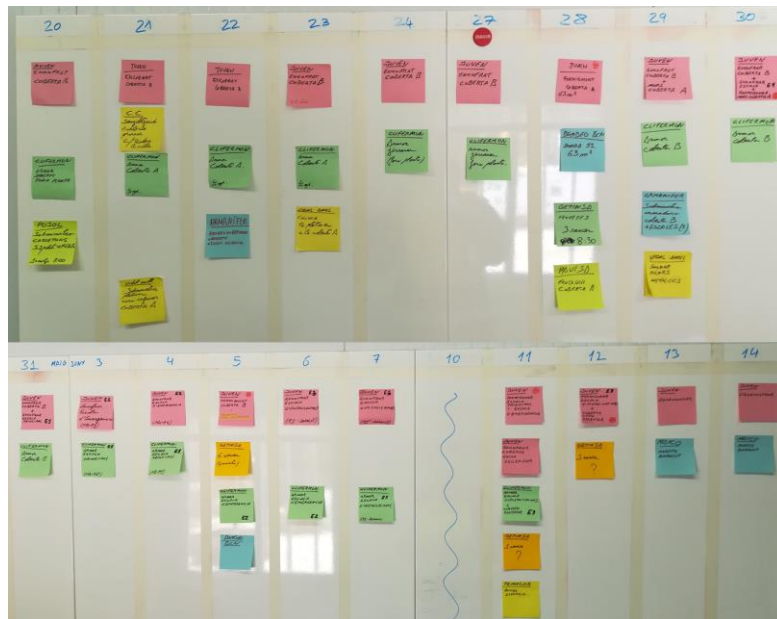


Figura 34: Pissarra de LPS de les obres de la biblioteca de l'Almeda. *Elaboració pròpia.*

Quan el transcurs de l'obra no s'ha adequat a la informació de la pissarra, se n'han analitzat les causes i se n'ha deixat constància en un document de seguiment. Un cop al mes s'ha fet una reunió amb el coordinador de Lean Management de Constructora de Calaf S.A.U per a valorar el transcurs del mes, donar feedback sobre la metodologia Lean i interpretar els resultats recollits en el full de seguiment.

A la següent figura es mostra el full de seguiment esmentat anteriorment. Un dels gràfics que apareix en aquest document és el que veiem en la Figura 35. Sempre que no s'ha complert la planificació setmanal s'ha analitzat per quina de les següents causes ha estat (veure gràfic).

D'aquesta manera podem tenir informació de quins són els punts febles pels quals tenim més incompliments en la planificació i treballar per a solucionar-los.

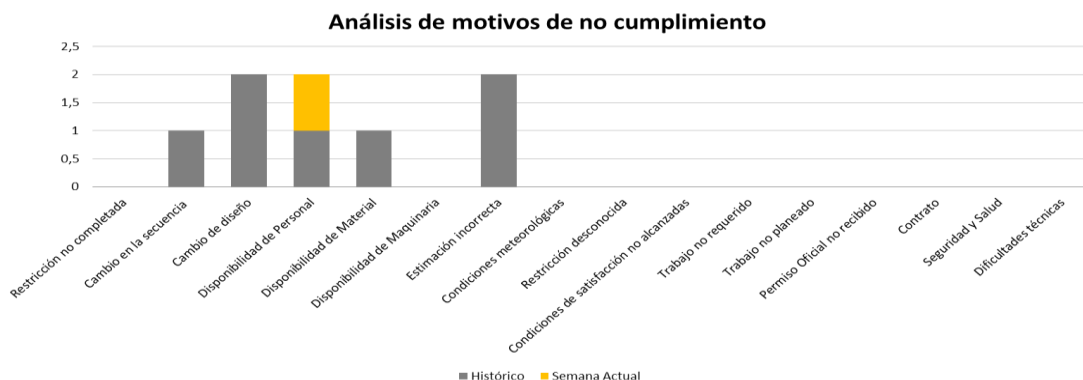


Figura 35: Fragment del document de seguiment de LPS. *Elaboració pròpia.*

#### 4.2.2 Integrated Project Delivery (IPD)

La metodologia IPD no ha estat utilitzada en la construcció de la biblioteca de l'Almeda. Tot i així crec important esmentar-la ja que és una manera de treballar que revoluciona completament l'estructura tradicional del sector i que comporta una sèrie d'avantatges clars respecte el procés tradicional.

*Integrated Project Delivery* (IPD) és una metodologia de treball compresa dins el *Lean Construction* que consisteix en involucrar totes els agents que intervenen el procés de construcció d'un edifici des del principi del procés.

La metodologia BIM explicada en apartats anteriors és una de les eines clau per a dur a terme un projecte IPD, ja que al tractar-se d'una metodologia col·laborativa tots els agents involucrats en la construcció de l'edifici poden treballar plegats des del principi.

La Figura 36 mostra la diferència entre la seqüència temporal d'incorporació dels diferents agents de la construcció en un projecte tradicional i en un projecte IPD:

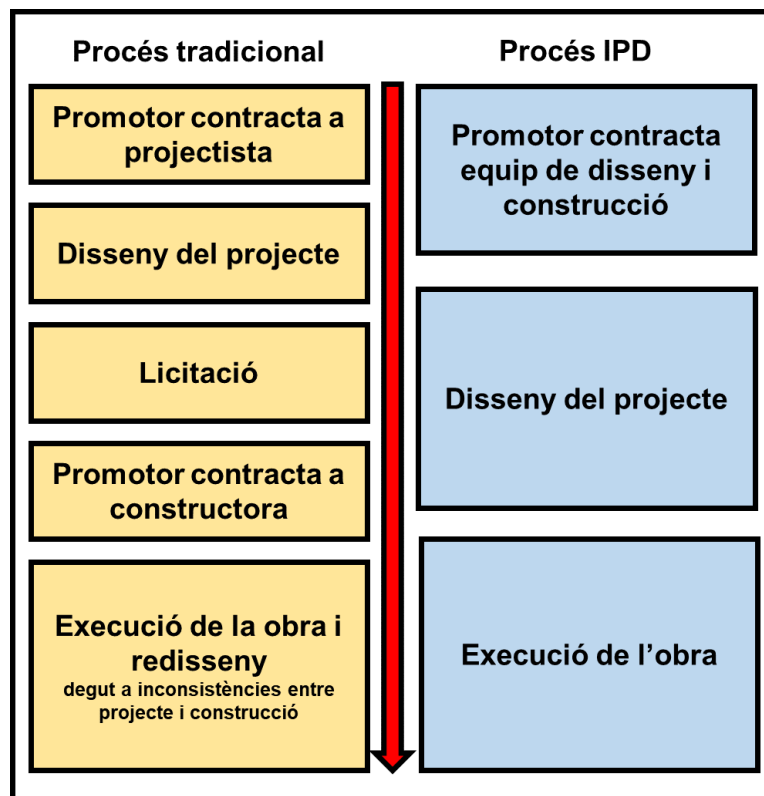


Figura 36: Diferències temporals entre un procés convencional i un procés IPD. Ayats Perez, C. (2015). *Lean: Diseño y construcción*. [El Ejido]: Círculo Rojo.

En un procés tradicional tenim el promotor, el projectista i el constructor, que en línies generals tenen objectius diferenciats. Cal dir que això és una simplificació per a mirar de fer entenedors els avantatges d'un procés IPD davant d'un procés tradicional i que en la realitat existeixen molts matisos a aquesta afirmació. Però podríem dir que l'objectiu del promotor és obtenir un edifici eficaç i funcional, amb la millor qualitat possible i el més barat possible. Per altra banda, les empreses constructores i els seus subcontractistes busquen estalviar en l'execució per a millorar el marge obtingut per a construir l'edifici. Finalment, els projectistes habitualment es centren més en l'estètica i en fer que el seu projecte sigui únic i innovador, sense tenir tant en compte l'impacte econòmic.



Aquest conflicte d'interessos entre les parts implica disputes i fa que com més es compleixin els objectius d'una de les parts, menys es compliran els de les altres. Així doncs, es generen guanyadors i perdedors.

Per exemple, si durant la fase de projecte es produeixen indefinicions o parts del projecte no es poden construir, en un procés tradicional pot ser que no s'arribin a detectar fins al moment de construir aquella part en concret on hi ha el conflicte.

Això és degut a que qui té el *know how* de com construir és l'empresa constructora i els subcontractistes, que pot ser que no se n'adonin fins al moment de fer-ho. Naturalment aquest fet produirà sobre costos ja que no és el mateix adonar-se d'un error en fase de projecte que en fase d'obra, on els preus ja estan tancats i la construcció ja està planificada.

Així doncs, aquest fet es podria evitar si els constructors i els industrials treballessin conjuntament amb el dissenyador des de l'inici del projecte i participessin del seu disseny enlloc d'incorporar-se al procés un cop acabat el disseny i entrat el projecte en licitació. El promotor també formaria part de l'equip de disseny per a assegurar-se que aquest es fa segons els seus interessos. Veure Figura 37.

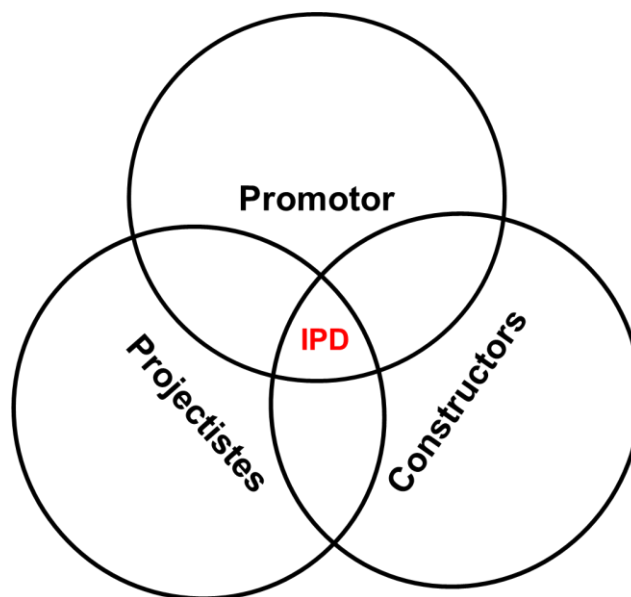


Figura 37: Estructura organitzativa d'un projecte IPD. *Elaboració pròpia.*

El fet de que els contractistes i subcontractistes no s'incorporin durant la fase de disseny també comporta altres problemes. Seguint amb l'exemple de la indefinició o la definició inconstruïble en fase de projecte explicada anteriorment, pot ser que aquest error sigui detectat per l'empresa constructora en el moment d'estudi del projecte. Per tant molt abans d'arribar al moment de construir aquesta part concreta on hi ha el conflicte.

Ara bé, és possible que l'empresa constructora no ho comuniqui ja que fer-ho pot perjudicar els seus interessos. És evident que si es detecta l'error a temps i es proposa una solució alternativa per part de l'empresa constructora la repercussió econòmica per al projecte serà menor.

Però proposar una alternativa implica risc per a l'empresa constructora, ja que si aquesta alternativa no resulta satisfactòria mai es podrà demostrar si la solució inicial era adequada i això implicarà costos que la constructora haurà d'assumir. És per això que l'empresa

constructora no comunicarà el canvi que proposa fins que estigui 100% segura tant de la fiabilitat tècnica com econòmica de la millora proposada.

L'*Integrated project delivery* també suposa una millora en aquest aspecte, ja que implica contractualment tots els agents des del principi de l'obra. Tots els costos i beneficis del disseny i la execució es reparteixen entre projectistes i constructors. Ja no es tracta d'empreses amb interessos diferents, sinó que és responsabilitat de tots treballar per a fer un disseny de qualitat per a tenir també una execució de qualitat; minimitzant així els costos i maximitzant la qualitat del projecte i els beneficis.

El promotor fixa amb els projectistes i els constructors un EMP (cost màxim estimat) per a la redacció i execució del projecte. A continuació totes les parts implicades signen un document anomenat IFOA (*Integrated form of agreement*). En aquest document es desglossa el cost màxim estimat en 3 parts:

- **Cost real:** Costos directes i indirectes estimats per les empreses contractades pel promotor.
- **Contingència:** Es tracta d'una quantitat monetària de reserva per a absorbir els costos reals en el cas que siguin majors que els previstos.
- **Benefici industrial:** Són els beneficis previstos per les empreses contractades pel promotor.

La Figura 38 mostra el total del cost màxim estimat desglossat en costos reals, contingència i benefici industrial:

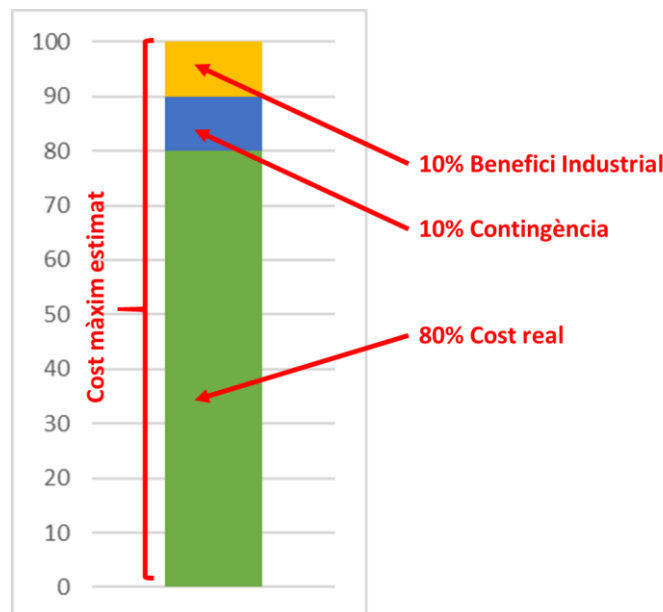


Figura 38: Desglossat del cost màxim estimat. *Elaboració pròpia.*

Considerem que inicialment s'ha pactat que del 100% de l'import que el promotor pagarà al constructor i al projectista un 80% són els costos reals, un 10% la contingència i un 10% els beneficis industrials.

Si s'aconsegueix ajustar els costos reals al 80%, el 10% de contingència no utilitzat es sumarà als beneficis. D'aquesta manera projectista i constructor obtindran un benefici del 20%. Per altra banda, si se sobrepassa el valor de contingència i es tenen uns costos reals del 95% del cost màxim estimat el benefici de les empreses serà només del 5%.



Per això és tan important una planificació i un desenvolupament del projecte que compti amb la participació de tots els agents implicats. Ja que l'import que el promotor pagarà al projectista i al constructor està limitat pel valor del cost màxim estimat així que la maximització del benefici recau en la feina de totes les parts implicades.

El promotor està protegit dels sobre costos que es puguin produir ja que ha pactat l'import a pagar. Aquest només haurà d'afegir més diners que el 100% de l'EMP en el cas que els costos reals superin el 100% d'aquest import. Aquesta no és una situació beneficiosa per a cap de les parts implicades ja que ja que si els costos reals superen el 100% del cost màxim estimat significarà que els beneficis són del 0%.

Per altra banda, si en el cas de l'exemple anterior els costos reals són inferiors al 80% pactat (per exemple 70%); projectistes i constructors hauran d'incloure millores en l'edifici per valor d'un 10% de l'EMP fins a arribar al 80% pactat.



## 5 Seguiment de la construcció de la biblioteca de l'Almeda

En aquest apartat es recull el seguiment de la construcció de l'estructura de la biblioteca de l'Almeda a Cornellà de Llobregat.

L'estructura de l'edifici s'ha dut a terme des d'inicis de febrer de 2019 fins a juny de 2019.

Tal com podem veure en la Figura 39 i Figura 40 extrems del model BIM de la biblioteca, l'edifici és de planta rectangular i consta de planta baixa i primera planta.

La fonamentació està formada per 24 sabates de cantell 60 cm i 70 cm i superfície variable entorn els 270 x 270 cm. Tot i que en la imatge no està representada, existeix una riostra que uneix les 18 sabates perimetrals.

La planta baixa, de 37 metres de llarg i 13 metres d'ample consisteix en un forjat sanitari format per 8 bigues (o jàsseres) transversals de 13 metres de llarg sobre les que reposen biguetes prefabricades disposades perpendicularment format un forjat unidireccional de bigues i revoltos.

De les jàsseres transversals neixen 24 pilars de secció 30 x 30 cm i 35 x 25 cm que sostenen el forjat reticular de cantell 35 cm de la primera planta. L'alçada entre forjats és de 3,85 metres. Aquest té la mateixa longitud que la planta baixa (37 m) però la seva amplada és de 18 m. Així doncs, existeixen dos voladus de 3,5 m i 1,5 m per cada banda respectivament.

La continuació dels 24 pilars de 30 x 30 cm sosté les dues cobertes de l'edifici:

La coberta A és plana; formada per un forjat reticular de 35 cm de cantell. Les seves dimensions són 8,5 x 13 m. Ambdós forjats reticulars (coberta A i forjat de la primera planta) estan formats per cassetons de 30 cm d'alçada i una capa de compressió de 5 cm.

La coberta B és una llosa massissa de formigó (cantell 22 cm) en forma de "V" amb ales de diferent longitud. L'ala llarga té una longitud de 7,5 m i una inclinació de 15° i la curta una longitud de 3,6 m amb una inclinació de 12°.

L'extrem de l'ala llarga de la coberta B es sustenta sobre la coberta A per mitjà de 8 pilars metàl·lics tubulars de 120 x 200 x 6 mm.

En els apartats posteriors es detalla com s'ha dut a terme la execució de cadascun dels elements descrits anteriorment.

La Figura 41 mostra un diagrama de Gantt que representa la evolució temporal de les feines d'execució de l'estructura. El diagrama divideix la construcció de l'estructura en 17 activitats. El diagrama també mostra en quins apartats del text es descriu cadascuna de les activitats.

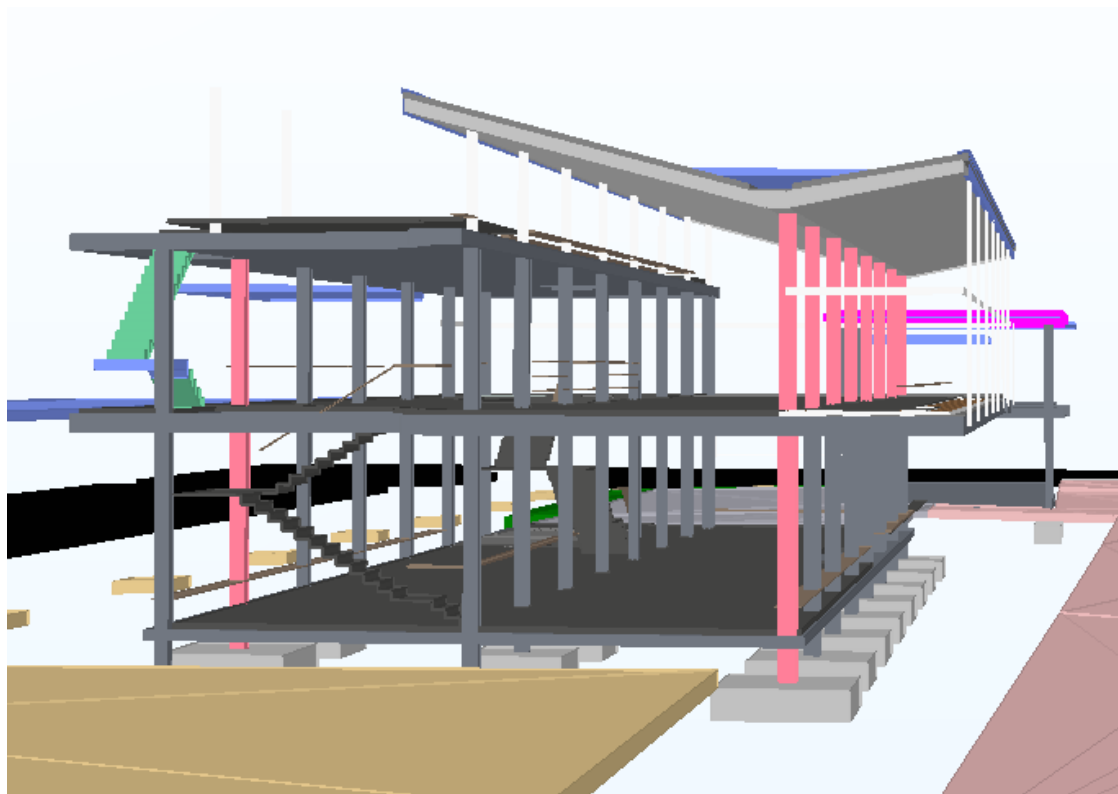


Figura 39: Estructura de la biblioteca. *Model BIM de la biblioteca de l'Almeda.*

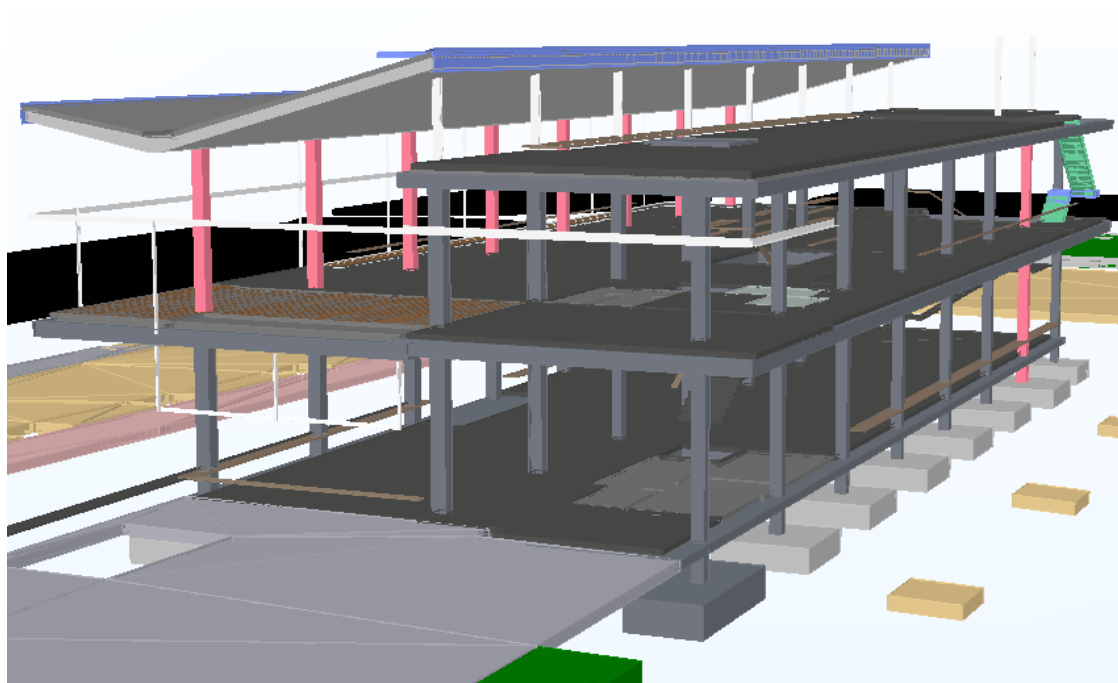
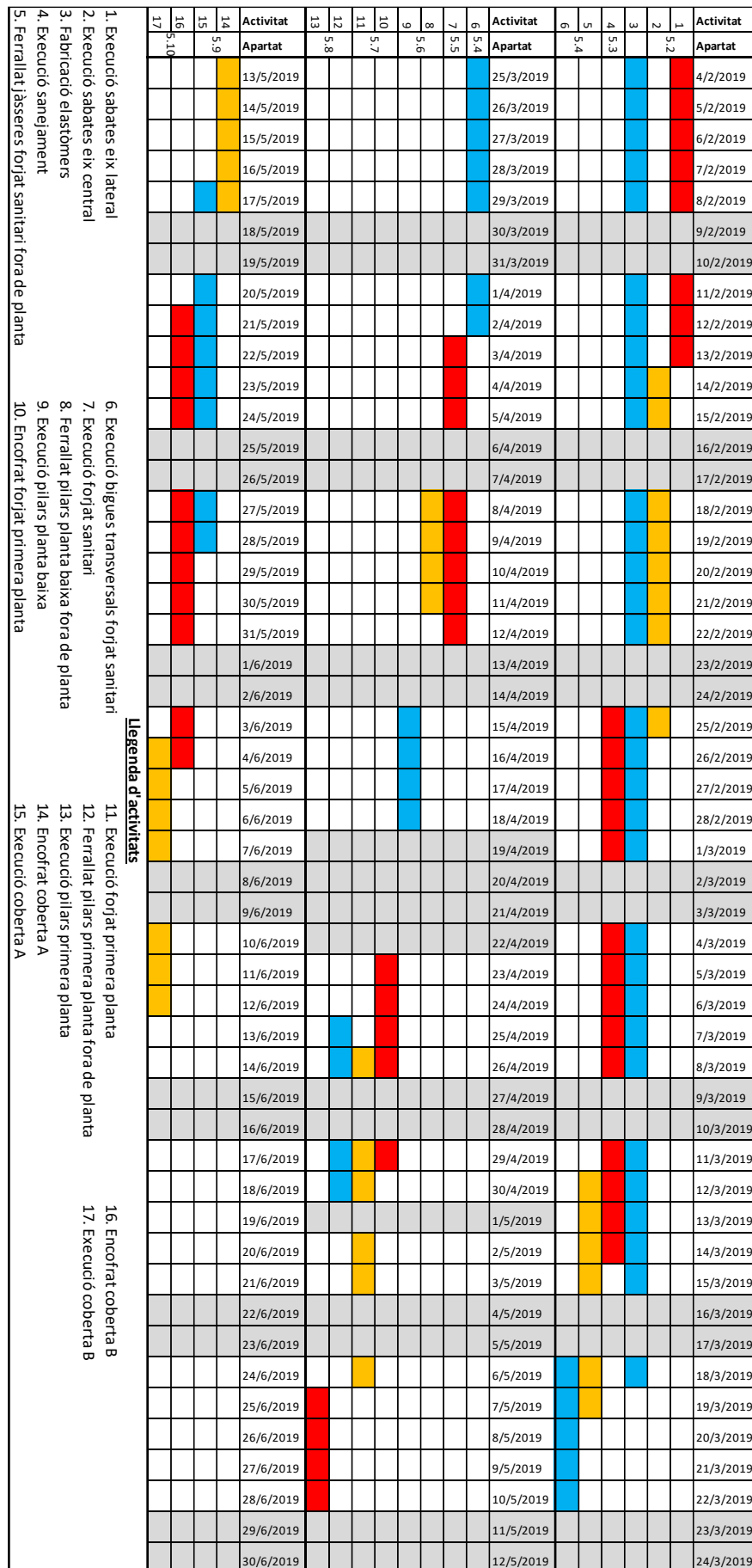


Figura 40: Estructura de la biblioteca. *Model BIM de la biblioteca de l'Almeda.*

Figura 41: Evolució temporal dels treballs d'estructura. *Elaboració pròpia.*

### 5.1 Implantació d'obra i enderroc prevís

La primera actuació que es va dur a terme en la construcció de la biblioteca de l'Almeda va ser la implantació d'obra; és a dir la preparació de la infraestructura necessària per a començar les feines de producció. La implantació es va dur a terme el desembre de 2018.

Tal com veiem en la Figura 42 es va delimitar la zona de treball. El terreny previ a la construcció de la nova biblioteca consistia en una illa entre carrers urbanitzada amb zones verdes, pistes de petanca, jocs infantils i una pista esportiva. L'únic edifici construït dins l'illa era el casal d'avis del barri de l'Almeda, d'una planta d'alçada.

Després de delimitar la zona de treball amb tanca metàl·lica es van instal·lar 4 casetes prefabricades de 15 m<sup>2</sup> destinades a diferents serveis: sala de reunions, oficina, menjador i vestuaris. Es va instal·lar també un contenidor marítim de 15m<sup>2</sup> per a ésser utilitzat com a magatzem d'eines i consumibles d'obra; i un W.C.

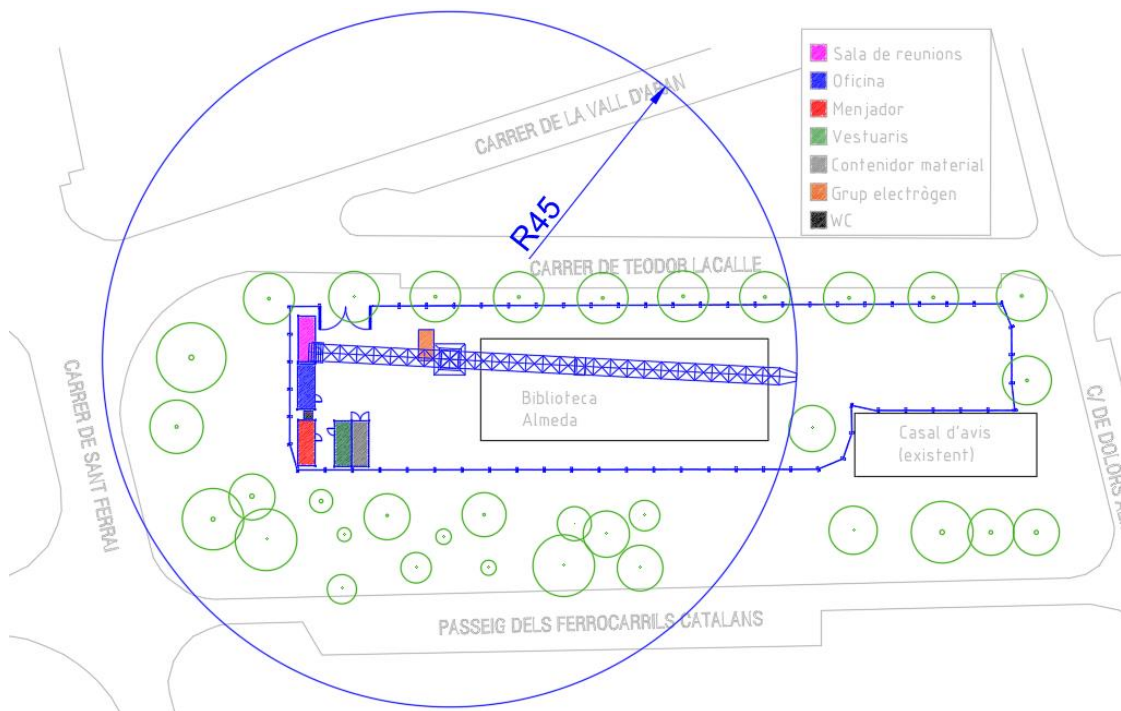
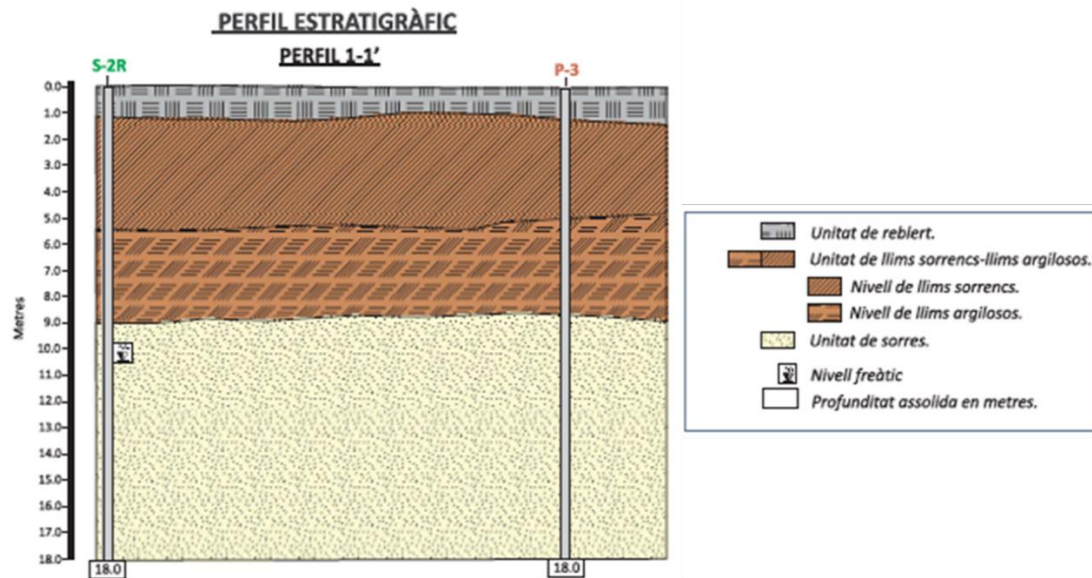


Figura 42: Implantació d'obra. *Elaboració Pròpia.*

Es va preveure la instal·lació d'una grua torre de 45 metres de radi i 38 metres d'alçada, situada en un dels costats de l'edifici. La grua no va ser necessària fins al moment d'executar el forjat de la primera planta de la biblioteca, així que aquesta no es va muntar en el moment de la implantació, sinó més endavant (març de 2019). També es va instal·lar un grup electrògen de 100 kVA per a alimentar la grua torre i les casetes.

Un cop feta la implantació d'obra, es va procedir als enderrocs i al moviment de terres. Aquestes actuacions consisteixen en preparar la parcel·la de terreny on es construirà el següent edifici eliminant la construcció anterior i rebaixant el terreny a la cota adequada. Primerament es van desmuntar els jocs infantils i tot el mobiliari urbà i posteriorment es va rebaixar el terreny existent 1,2 metres des de la cota del paviment amb l'objectiu d'eliminar la capa de formigó del paviment i la capa de reblert per a arribar a la capa de llims sorrencs i argilosos exposades a l'estudi geotècnic (veure Figura 43). L'estudi geotècnic recomanava executar la fonamentació superficial en aquesta capa (veure Figura 43).



La fonamentació es podrà resoldre de manera superficial-semiprofunda mitjançant sabates aïllades-pous de fonamentació encastats a la unitat de llims sorrenco-llims argilosos, o bé, de manera profunda mitjançant pilons encastats a la unitat de sorres.

Figura 43: Perfil estratigràfic del terreny i consideracions geotècniques. *Projecte executiu de la biblioteca de l'Almeda.*

Com s'ha comentat anteriorment, la implantació, els enderrocs i el rebaix es van dur a terme durant una setmana del mes de desembre de 2018. No obstant, els treballs no van continuar fins a inicis del mes de febrer de 2019. La dilatació temporal entre el rebaix del terreny i la següent fase de construcció (la execució de la fonamentació) va ser deguda a l'aparició d'una restricció temporal.

Com veurem més endavant, la fonamentació d'aquest edifici conté elastòmers per a absorbir les vibracions del terreny. Aquests dispositius no apareixien en el projecte inicial i van ser incorporats després de conèixer els resultats d'un estudi de vibracions efectuat sobre el terreny. Aquest canvi respecte al projecte inicial va comportar un recàlcul de l'estructura per part dels projectistes i la contractació dels elastòmers per part de l'empresa constructora. La data d'entrega del material anti-vibracions estava prevista per la segona quinzena del mes de març de 2019.

Degut a que les tasques prèvies a la col·locació dels elastòmers no eren tan extenses com per a mantenir una activitat continua a l'obra fins l'arribada de material, es va decidir para els treballs temporalment i reprendre'ls el 4 de febrer de 2019.

## 5.2 Fonamentació

La fonamentació és l'element estructural que transmet les càrregues que suporta una estructura al sòl de manera que no se sobrepassi la capacitat portant del terreny; i les deformacions d'aquest siguin admeses per l'estructura.

La presència de llims sorrenco i argilosos a poca profunditat va permetre una fonamentació de tipus superficial. Així doncs, la fonamentació de la biblioteca de l'Almeda està formada per sabates aïllades i arriostrades.



El pes de l'edifici i els esforços que rep són transmesos a les sabates, que amplien la superfície de transmissió de les càrregues a una tensió admissible pel terreny. Els arriostraments impedeixen el desplaçament lateral de les sabates que lliguen.

La tensió admissible del terreny apareix en l'estudi geotècnic, la veiem en la Figura 44.

<b>Sabates aïllades-pous de fonamentació de longitud <math>L = 1.5-2.0</math> m.</b>	<b><math>q_u = 1.45 \text{ kg/cm}^2</math></b>
--	--

Aquests valors tenen aplicat un factor de seguretat de 3.

Figura 44: Tensió admissible del terreny. *Projecte executiu de la biblioteca de l'Almeda.*

Es tracta de sabates de diferents dimensions amb un cantell de 60cm en tots els casos excepte dues sabates, que tenen un cantell de 70 cm. Totes les sabates de l'edifici disposen d'un armat inferior compost per una quadrícula de barres de diàmetre 16 mm cada 20cm o 15 cm, en funció de la sabata.

L'armat inferior de les sabates té la missió de resistir els esforços de tracció que rep aquesta en la seva part inferior.

En funció de la distribució de tensions del terreny sobre les sabates i les dimensions d'aquetes, les sabates es poden considerar rígides o flexibles.

Les sabates flexibles són aquelles en les que es considera una certa flexió degut a la interacció sabata-terreny. Per altra banda, les sabates rígides són aquelles que es comporten com un sòlid rígid i no es deformen (veure Figura 45).

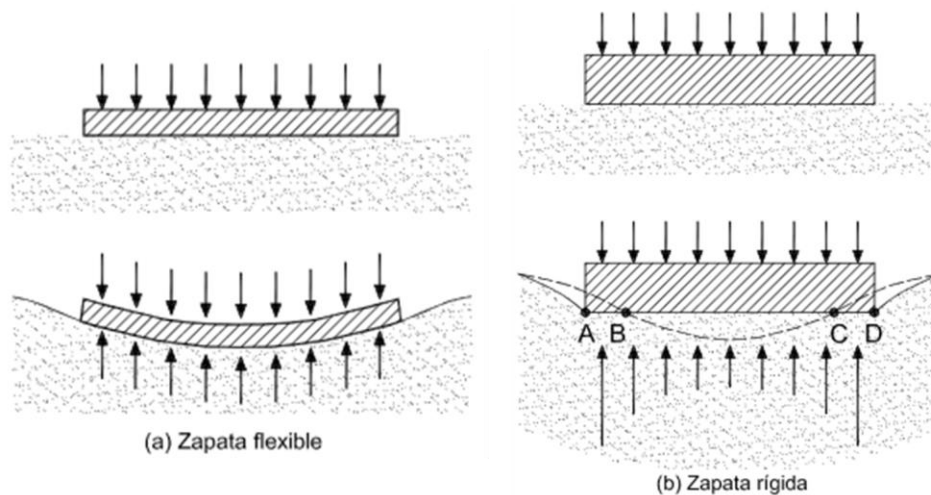


Figura 45: Sabates rígides i flexibles [13].

La Instrucció del Hormigón Estructural EHE-08 considera les sabates rígides com regions D [14]. Es consideren regions D les estructures o parts d'una estructura en què no sigui vàlida la teoria general de flexió, és a dir, on no siguin aplicables les hipòtesis de Navier-Bernoulli: *dues seccions transversals inicialment planes i paral·leles segueixen sent planes encara que no paral·leles al llarg del procés de deformació, fins i tot a la regió plàstica.*

Les regions D apareixen quan es produeixen canvis bruscos de geometria o en zones d'aplicació de càrregues i reaccions concentrades. Igualment, una regió D pot estar constituïda per una estructura en el seu conjunt a causa de la seva forma o proporcions.

La distribució de tensions de les sabates rígides es veu en la Figura 46 (esquerra). En la mateixa figura (dreta) podem veure l'esquema de bieles i tirants d'una sabata rígida. Aquest és el mètode que recull l'EHE-08 per al càlcul de regions D.

Com podem veure, la distribució a l'interior de la sabata genera zones que treballen a tracció i zones que treballen a compressió. El mètode de bieles i tirants simplifica la sabata en una estructura de barres comprimides i traccionades.

Com podem veure, l'armat inferior de la sabata serveix per reforçar el formigó de la biela traccionada inferior.

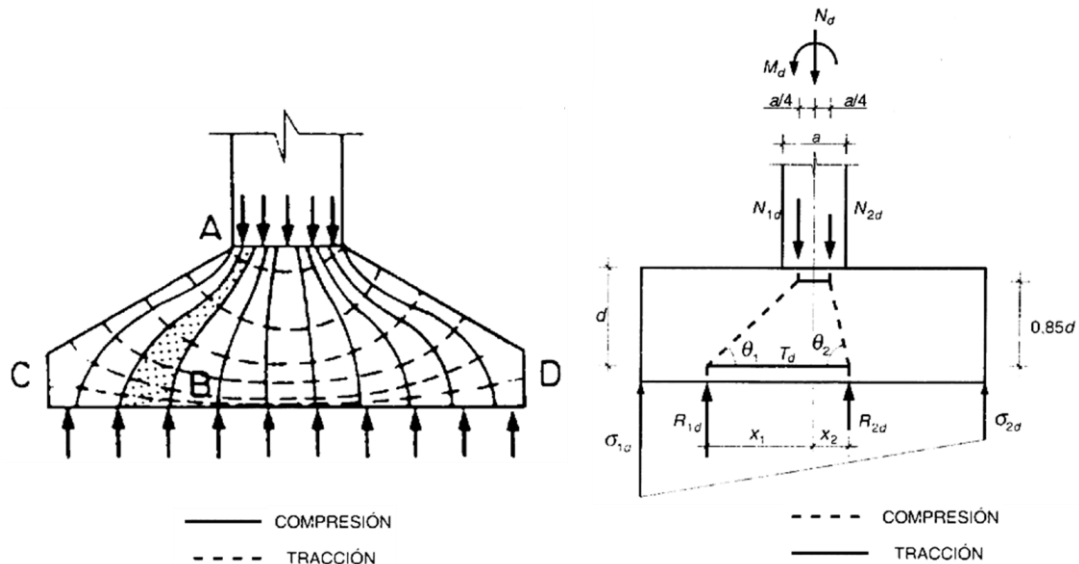


Figura 46: Sabates rígides. *Universidad de Alicante* [15]

El dimensionament de les sabates de la biblioteca de l'Almeda s'ha fet considerant aquets elements com sabates flexibles.

Les sabates flexibles són aquelles on es pot emprar la teoria general de la flexió per al seu dimensionament. La sabata es tracta com una biga a flexió i l'armadura inferior es dimensiona per al moment que ha de suportar com a element en voladís, considerant l'encastament en una secció  $S_1$  situada a un 15% de l'amplada del pilar reculada cap al seu interior (veure Figura 47).

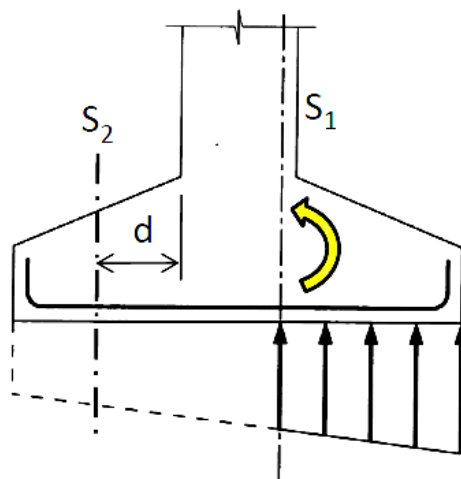


Figura 47: Sabata flexible. *Universidad de Alicante*.

Com podem veure en la Figura 48, les sabates estan disposades en tres eixos longitudinals. El terreny d'obra on s'han d'executar és també rectangular en la mateixa proporció que la disposició de sabates.

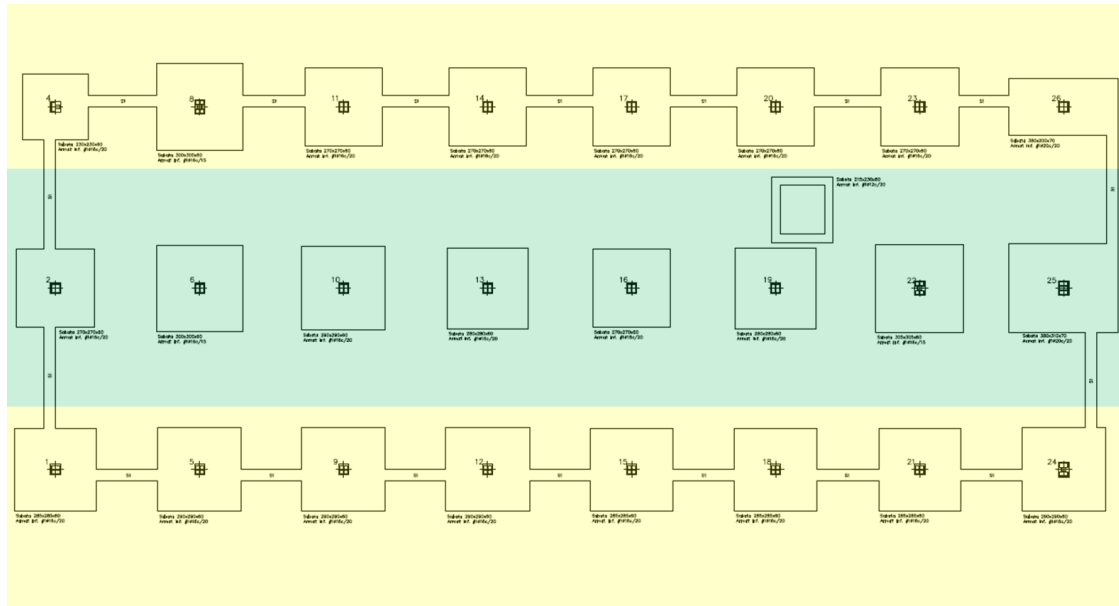


Figura 48: Fonamentació superficial de la biblioteca de l'Almeda. *Projecte executiu de la biblioteca de l'Almeda.*

Aquesta disposició del terreny impedia que la màquina excavadora pogués excavar els tres eixos en el mateix moment. Quan la màquina excavadora excavava un pou, la terra extreta era acopiada immediatament al costat de l'excavació. Més endavant, tots els munts de material extret s'agrupaven en munts més grans en zones concretes del terreny. Aquests munts eren recollits pels camions de l'empresa de moviment de terres i transportats a l'abocador corresponent. Tota aquesta manipulació de terres implicava maniobres de vehicles que no es podrien dur a terme si tot el terreny estigués ple de pous.

A més, com veurem en la Figura 52, la poca profunditat dels pous i la separació entre ells permetia abocar el formigó directament des del camió formigonera, sense necessitat de la utilització de cubilot o bombes de formigó. Era necessari doncs, deixar espai a prop dels pous per a que el camió formigonera pogués apropar-se.

Així doncs, es va decidir executar els pous i riostres laterals durant la setmana del 4 febrer (eixos groguencs en Figura 48). I un cop plens els pous laterals, es va començar la excavació de les sabates aïllades de l'eix central (eix verd de la Figura 48) 10 dies després.

En la Figura 49 veiem imatges de la excavació de les sabates i riostres laterals i les sabates aïllades centrals. En la figura de l'esquerra es veu la excavació d'una sabata addicional més ampla i profunda per a la grua torre.

Un cop excavades les sabates de la fonamentació, es va procedir a vertir una capa de 10 cm de formigó de neteja al fons dels pous. El formigó de neteja és un formigó amb una resistència inferior a la mínima permesa en la *Instrucción del Hormigón Estructural EHE-08* i, per tant, d'ús no estructural [16]. En el cas de la biblioteca de l'Almeda es va utilitzar un formigó de resistència 15N/mm<sup>2</sup> quan la resistència mínima per al formigó armat compresa a la EHE-08 és de 25 N/mm<sup>2</sup>. Naturalment, el preu del formigó de neteja és més econòmic que el formigó estructural, per això és emprat per a funcions no estructurals.

L'objectiu de la capa de formigó de neteja és:

- Anivellar el terreny excavat
- Aïllar la fonamentació del terreny natural porós inferior i evitar així l'assecamment excessiu del formigó estructural durant les primeres hores.
- Evitar la contaminació del formigó estructural.

A continuació, es va ferrallar l'armat inferior (i únic) de les sabates.

En la Figura 50 podem veure un eix de sabates i riostres laterals completament ferrallat i amb una capa de formigó de neteja per sota de l'armat.



Figura 49: Excavació per a la fonamentació superficial. *Elaboració pròpia.*



Figura 50: Armat de la fonamentació. *Elaboració pròpia.*

Cal comentar també que tal com podem veure en la Figura 51, durant el ferrallat de les sabates de fonamentació es va col·locar la presa de terra de l'edifici. Aquesta consistia en un cable nu de coure de 35mm<sup>2</sup> de secció que discorria en contacte amb l'armat de les sabates formant un anell al voltant de l'edifici. En diversos punts de l'anell, es van clavar piques de coure al terra que tenien la funció d'elèctrodes de descàrrega al terreny.

El cable de coure i les piques instal·lades es connectaran posteriorment a la xarxa de presa de terra de l'edifici, que connectarà el circuit elèctric i la massa metàl·lica directament a terra per tal d'evitar diferències de potencial perilloses i permetre el pas de les corrents de descàrrega de tipus atmosfèric.



Figura 51: Presa de terra de l'edifici. *Elaboració pròpia.*

Un cop ferrallades les sabates i instal·lades les preses de terra es va procedir a formigonar la fonamentació. Com s'ha comentat abans, la poca profunditat de les sabates va permetre abocar el formigó directament des de la cuba. En les següents imatges veiem



el braç de la cuba que aboca directament sobre les sabates. Podem observar també com el terreny no es va comportar de la mateixa manera en totes les excavacions. En la majoria de pous, les parets de llims sorrencs i argilosos van mantenir la seva integritat i no va ésser necessari encofrat. En canvi, en dues de les sabates va ser necessari encofrar la sabata, ja que el terreny no va permetre la formació de la paret vertical del pou.



Figura 52: Formigonat de les sabates. *Elaboració pròpia.*

A continuació podem observar la sabata de la grua abans d'ésser ferrallada i formigonada. Es pot veure la capa de formigó de neteja i la base de la grua. Un cop instal·lada la base de la grua, es va ferrallar la sabata seguint les indicacions de l'oficina tècnica de l'empresa subministradora de la mateixa. En la Figura 54 veiem el plànol d'armat subministrat per l'empresa de la grua torre.



Figura 53: Base de la grua torre. *Elaboració pròpia.*

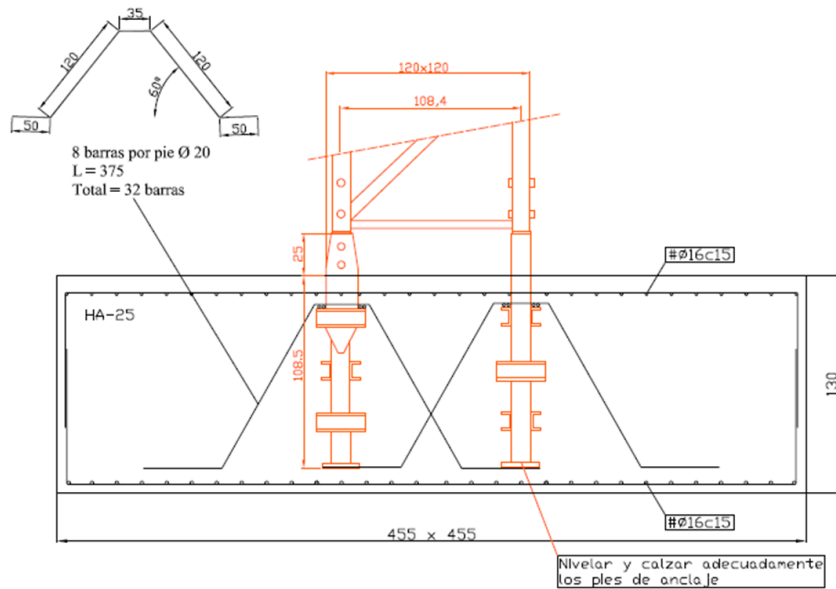


Figura 54: Fonamentació de la grua torre. *Gruas Cerezo*.

La setmana del 25 de febrer les sabates de la fonamentació de l'edifici i de la grua torre estaven completament executades. En la Figura 55 podem veure la fonamentació superficial ja formigonada.



Figura 55: Fonamentació superficial. *Elaboració pròpia*.

### 5.3 Xarxa de sanejament

Durant la setmana del 25 de febrer es va començar a executar la xarxa de sanejament horitzontal. Les aigües negres i pluvials de l'edifici es recullen a totes les plantes i es condueixen per gravetat al subsol de l'edifici, on es connecten amb la xarxa de clavegueram municipal.

Així doncs, es van excavar rases per col·locar els tubs del sanejament horitzontal. En la Figura 56 podem veure les rases i els tubs de PVC del sanejament. Els tubs acaben en colzes de 90 graus on s'embocaran els tubs provinents dels pisos superiors.

Les canalitzacions del sanejament horitzontal es van fer en rases i posteriorment es van enterrar. És per això que els materials instal·lats havien de ser aptes per a suportar el pes



de la terra que s'hi col·locava a sobre. Al mercat existeixen molts tubs per a canalització d'aigües residuals: alguns per a treballar a pressió altres per a treballar per gravetat, preparats per a ésser enterrats a diferents profunditats, etc. i tots ells subjectes a diverses regulacions i normatives. Els més habituals són els tubs de PVC. Una manera ràpida i efectiva de distingir els tubs de PVC preparats per a ésser enterrats i els que no ho són és el color: els tubs de PVC per a ésser enterrats es fabriquen de color teula, mentre que els no aptes per a ésser enterrats es fabriquen de color gris.

En el cas de la biblioteca de l'Almeda, es va protegir els tubs de sanejament formigonant les rases on estaven situats.

Un cop acabat el sanejament horitzontal, es va excavar una rasa en direcció a la connexió amb el clavegueram, tot i que aquesta connexió es va deixar per a més endavant, ja que implicava tramitar un tall de carrer a l'ajuntament per a poder arribar a la canalització de la via pública.



Figura 56: Sanejament horitzontal de l'edifici. *Elaboració pròpia.*

#### 5.4 Sistema anti-vibratori

La fonamentació de la biblioteca de l'Almeda presenta una peculiaritat davant la gran majoria d'edificis del nostre país: la presència d'un sistema per a evitar les vibracions provinents del subsol.

L'edifici se situa just a sobre de la parada de Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya "Almeda". Aquest fet va provocar el temor de que les vibracions produïdes pels combois que paren a l'estació situada just a sota poguessin ésser percebudes a la superfície i ésser transmeses a l'estructura de l'edifici, provocant molèsties als usuaris de la biblioteca i inclús afectant l'estabilitat de l'edifici.

És per això que l'Àrea Metropolitana de Barcelona va encarregar un informe sobre el nivell de vibracions en l'entorn de la biblioteca. Aquest conclouia que s'havien de prendre mesures per a evitar les vibracions.

Les mesures que es van prendre van ser la col·locació d'elastòmers que desconnectaven les sabates de la resta de l'estructura de l'edifici. Així doncs, la vibració del sol és absorbida per aquests elements i no es transmet a l'edifici. Això comporta un fet inusual, que és que l'estructura de l'edifici està aïllada de la fonamentació i totes les càrregues es transmeten dels pilars als elastòmers i dels elastòmers a les sabates. L'annex d'aquest treball recull la fitxa tècnica d'aquests elastòmers.

Com que tot l'edifici ha de reposar sobre els dispositius d'absorció de vibració, la planta baixa no es pot construir sobre el paviment existent com es fa habitualment, sinó que s'ha de construir un forjat sanitari que mantingui la planta suspesa sobre el sòl.

La solució emprada per al forjat sanitari va ser la construcció d'un conjunt de pòrtics transversals. Cadascun dels pòrtics transversals està format per una biga amb tres recolzaments puntuals sobre els elastòmers. La unió entre pòrtics es va resoldre mitjançant bigues pretensades prefabricades col·locades longitudinalment.

Al l'esquema en 3D de la Figura 57 veiem els elastòmers (en blau) col·locats sobre les sabates de la fonamentació. Sobre els elastòmers s'hi recolzen les bigues transversals (en vermell) que formen els pòrtics. En verd veiem la representació d'una de les bigues prefabricades que fan la unió entre pòrtics. Finalment, en magenta veiem els pilars que neixen de les bigues transversals.

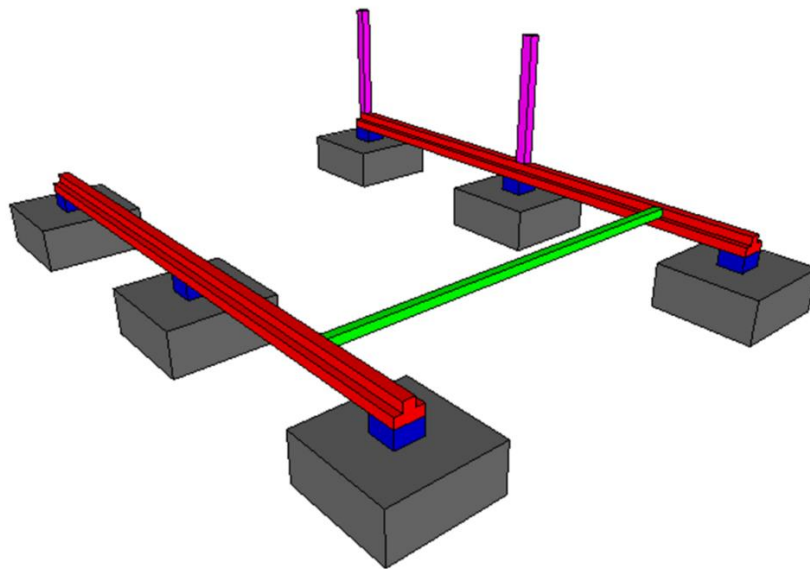


Figura 57: Esquema 3D del sistema de pòrtics del forjat sanitari. *Elaboració pròpia.*

L'esquema de la següent figura mostra amb més detall les diferències entre una estructura de sabates convencional (a l'esquerra) i la solució de l'estructura amb forjat sanitari i elastòmers anti-vibracions emprada a la biblioteca de l'Almeda.

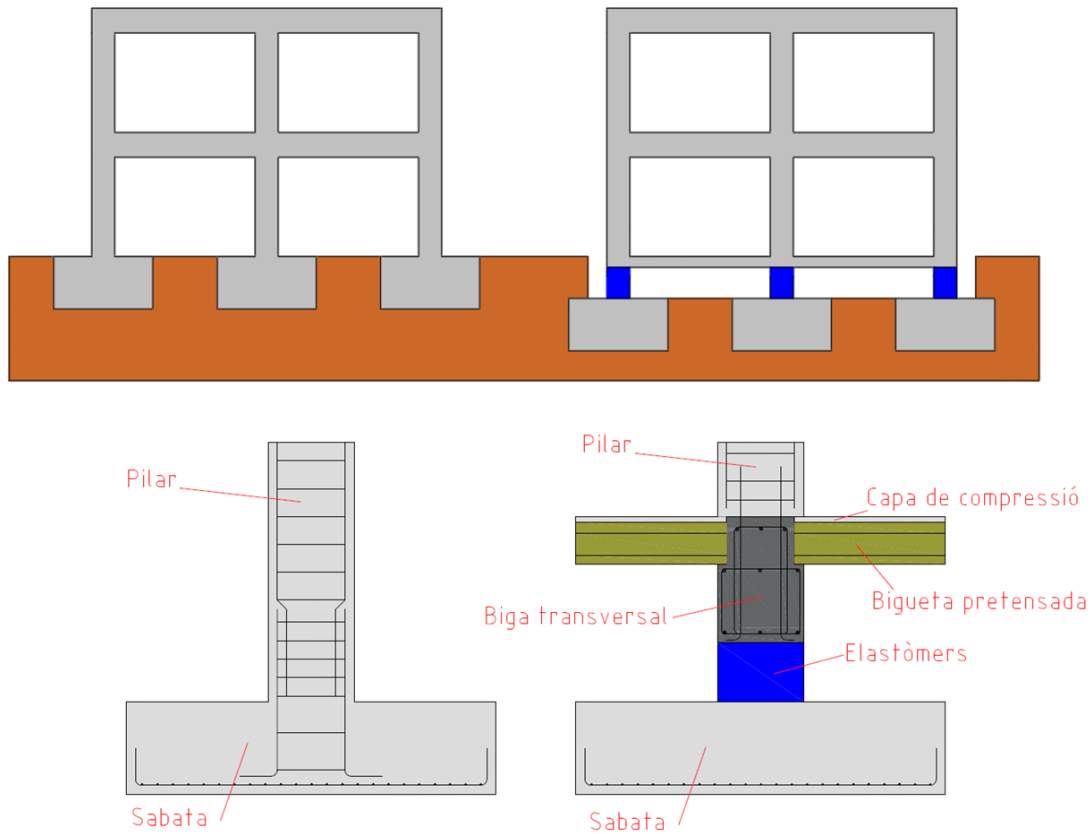


Figura 58: Diferències entre una estructura convencional amb sabates (esquerra) i la solució emprada a l'Almeda (dreta). *Elaboració pròpia.*

Durant la setmana del 18 de març es van col·locar els elastòmers en la seva posició i es va començar a executar les bigues transversals del forjat sanitari.

Els elastòmers es col·locaven en grups de 4 o 5 unitats al centre de cada sabata. La següent imatge (Figura 59) mostra la marca feta sobre una sabata per a posicionar els elastòmers.



Figura 59: Marca de posicionat dels elastòmers. *Elaboració pròpia.*

L'encofrat de les bigues va ésser una operació complexa ja que la impossibilitat de que les bigues travesseres estessin en contacte amb el terra impedia utilitzar un encofrat convencional.

Les bigues transversals estaven recolzades sobre els elastòmers, uns elements de 20 cm d'alçada. Això significa que com a màxim hi podia haver un espai de 20 cm entre la part inferior de la biga i el terra. Com que l'objectiu era desconnectar l'estructura de l'edifici i el sòl, l'opció de realitzar un encofrat perdut de taulons de fusta que mai fos retirat després de formigonar tampoc era una opció vàlida.

El contacte entre els dispositius anti-vibracions i l'estructura de la part superior s'havia de fer mitjançant una placa d'acer de 6 mm de gruix que faria la funció de repartir uniformement les càrregues de l'estructura sobre el conjunt d'elastòmers que conformaven un suport. Aquesta placa feia d'encofrat perdut entre la part inferior de la biga i un suport format per un conjunt d'elastòmers.

En la Figura 60 veiem un elastòmer (esquerra) i el conjunt de plaques d'acer que es van col·locar entre les bigues i els suports.



Figura 60: Elastòmer (esquerra) i plaques d'acer (dreta). *Elaboració pròpia.*

La solució emprada va ser encofrar la part inferior de la biga amb poliestirè expandit: un material fàcil de retirar mecànicament pels operaris un cop formigonades les bigues.

Per a regularitzar el terreny on s'havia de col·locar el poliestirè expandit (de 5 cm de gruix) es va fer una capa de formigó fins a una cota 5 cm més baixa que la cara inferior de la biga. D'aquesta manera, les plaques de poliestirè es van col·locar sobre una capa massissa de formigó i no sobre el terreny irregular del rebaix de terres.

En la Figura 61, Figura 62 i Figura 63 podem veure grups de 4 elastòmers posicionats al centre d'una sabata; una biga transversal encofrada lateralment amb taulers de fusta i la cara inferior amb poliestirè expandit sobre la capa de formigó; i la placa d'acer sobre els elastòmers.

Cal notar també que per a garantir la estanqueïtat de la cara inferior de la biga es van assegurar les juntes amb cinta adhesiva.

Per a garantir el recobriment del ferro de les bigues es van col·locar fragments de panot sobre l'encofrat de poliestirè. Com veurem més endavant, existeixen altres sistemes per a elevar les barres d'acer i garantir el recobriment. Però en el cas de col·locar un armat pesat sobre poliestirè expandit es va buscar una solució que repartís bé el pes i no punxés el material.





Figura 61: Elastòmers sobre la sabata i encofrat de porex. *Elaboració pròpia.*



Figura 62: Biga transversal encofrada. *Elaboració pròpia.*



Figura 63: Configuració de l'armat de les bigues transversals, els elastòmers, les plaques d'acer i l'encofrat de porex. *Elaboració pròpia.*

Paral·lelament als treballs de col·locació del sanejament i encofrat, els muntadors d'armadures d'acer van muntar l'armat de les bigues en una zona apartada de l'obra. Un cop llest l'encofrat de les bigues, l'armat es va col·locar al seu lloc per mitjà d'una grua. A continuació, es van posar les esperes dels pilars de la planta baixa. Ho podem veure a la Figura 64 i Figura 65.



Figura 64: Col·locació de l'armat de les bigues transversals. *Elaboració pròpia.*



Figura 65: Bigues transversals encofrades i ferrallades, amb les esperes dels pilars de la planta baixa muntats. *Elaboració pròpia.*

Un cop les bigues van estar completament ferrallades i encofrades es va procedir a formigonar-les. Degut a la poca quantitat de formigó necessària i a l'accessibilitat de les bigues per tots els costats, es va decidir formigonar amb cubilot.

En qualsevol element estructural de formigó armat és necessari vibrar el formigó per aconseguir que els àrids quedin igualment repartits per tot l'element, ja que sinó es fes aquesta operació els àrids baixarien al fons per gravetat. Aquest fet comportaria una mal comportament de l'element.



En la següent figura podem veure dos operaris abocant formigó a les bigues transversals mitjançant cubilot i utilitzant el vibrador.



Figura 66: Formigonat i vibrat de les bigues transversals. *Elaboració pròpia.*

La Figura 67 mostra les bigues transversals formigonades. L'encofrat lateral ja ha estat retirat. En la imatge superior veiem encara l'encofrat de poliestirè expandit ja retirat en la imatge inferior. Es pot apreciar com les bigues estan únicament recolzades sobre els elastòmers.

Les bigues transversals es van formigonar en dues fases: primerament es va formigonar la part inferior (el que veiem en la Figura 67). La part superior de la biga es va formigonar més endavant, un cop col·locat el sistema de biguetes i revoltons entre bigues transversals.



Figura 67: Bigues transversals recolzades sobre els elastòmers. *Elaboració pròpia.*



### 5.5 Forjat sanitari

A mitjans de la setmana de l'1 d'abril van començar els treballs de construcció del forjat sanitari. Es tracta d'un procediment senzill ja que es basa en la col·locació d'elements prefabricats.

Es tracta d'un forjat unidireccional amb un sistema de biguetes armades pretensades i revoltó. Veure esquema a la Figura 68:

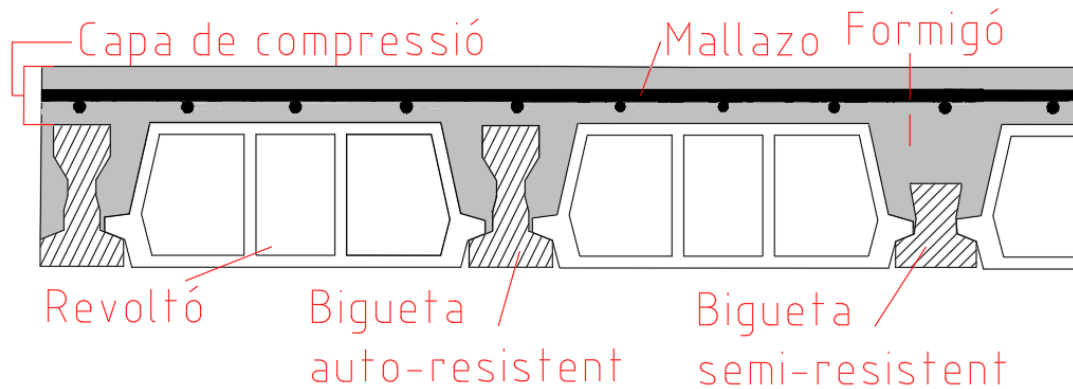


Figura 68: Esquema d'un forjat unidireccional amb biguetes i revoltó. *Elaboració pròpia.*

Existeixen dos tipus de biguetes usades habitualment en edificació, les biguetes semi-resistents i les biguetes auto-resistents. Les biguetes semi-resistents no són capaces de suportar el seu pes propi i el dels elements que formen el forjat durant la fase de construcció. Això és degut a que tota la seva secció treballa majoritàriament a tracció i la secció a compressió és el formigó del forjat. Naturalment, aquest tipus de biguetes són més econòmiques que les auto-resistents, però durant la fase de construcció s'han d'apuntalar. Al tractar-se d'un forjat sanitari a poca alçada del sòl aquesta operació resulta impossible. Per aquest motiu, l'execució del forjat sanitari de la biblioteca de l'Almeda es va fer amb biguetes auto-resistents, que resisteixen el seu propi pes i el dels altres elements del forjat sense necessitat d'apuntalament ja que tenen una secció traccionada i una comprimida.

Els revoltó actuen com a encofrat perdut per a omplir l'espai entre biguetes i sostenir el formigó que s'abocarà a la planta mentre aquest estigui en estat fluid. Poden ser de diversos materials: formigó, ceràmica i poliestirè expandit; essent aquets últims els més lleugers. Per motius econòmics i de disponibilitat es van utilitzar revoltó de formigó.

Les biguetes col·locades a obra eren de 220mm de cantell i 4,88 m de longitud (tipus VP-22.4, veure fitxa tècnica als annexos) amb un intereix de 70 cm. Els revoltó utilitzats eren del mateix fabricant (tipus 70.25, veure fitxa tècnica als annexos). Aquests tenien una alçada de 25 cm i estaven preparats per a ésser col·locats entre biguetes amb intereix 70 cm.

Així doncs, es va construir un forjat de cantell 25+5 cm. És a dir, amb una capa de compressió de 5 cm.

La capa de compressió reparteix uniformement les càrregues que ha de suportar el forjat. D'aquesta manera es transmeten els esforços puntuals en qualsevol punt del forjat a les biguetes. Sense la capa de compressió el forjat podria no ser capaç de resistir les càrregues puntuals que es produïssin a sobre dels revoltó. Aquesta capa consta de formigó i un armat de barres corrugades en disposició de quadrícula. Degut a que

normalment el diàmetre de les barres d'un armat de capa de compressió és petit (6mm o 8mm) aquest s'executa amb malla electrosoldada, habitualment anomenada *mallazo*.

El *mallazo* consisteix en una planxa normalment de 6x2,20 m formada per una quadriícula de barres d'acer corrugat de petit diàmetre. Les barres estan soldades entre si així que se'n simplifica la col·locació

Les biguetes pretensades es van recolzar sobre les bigues transversals a una separació adequada per a poder col·locar els revoltos (veure Figura 69).



Figura 69: Bigues pretensades recolzades sobre les bigues transversals. *Elaboració pròpia.*

El forat de l'ascensor estava situat en una zona entre bigues transversals. Aquest forat impedia que algunes biguetes es poguessin col·locar entre biga i biga. Per aquest motiu la direcció facultativa va incloure un reforç del forjat en l'àmbit del forat de l'ascensor format amb perfils HEB 180.

Es van col·locar dos perfils HEB 180 paral·lels a les biguetes recolzats en tres bigues transversals. Amb un tercer perfil HEB 180 disposat perpendicularment als dos anteriors i la biga transversal situada al mig dels perfils HEB 180 es va tancar el forat de l'ascensor (veure Figura 70). Es va soldar una platina d'acer al perfil HEB 180 on s'havien de recolzar les biguetes.

Un cop posicionades les biguetes es van col·locar els revoltos. Veure Figura 70.

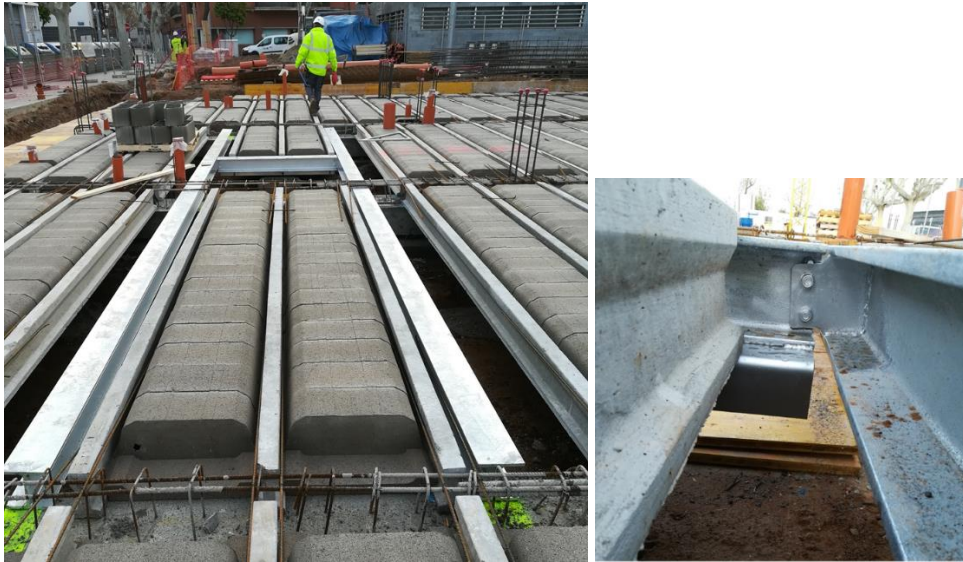


Figura 70: A l'esquerra: Forjat sanitari amb biguetes pretensades, perfils HEB en l'àmbit del forat de l'ascensor i revoltos. A la dreta: Unió entre perfils HEB 180 i platina de recolzament per a les biguetes. *Elaboració pròpia.*

La mida dels revoltos és única i permet encofrar grans superfícies entre biguetes, però existeixen conflictes puntuals que no es poden resoldre amb un revoltó convencional. A continuació s'exposen els conflictes amb que ens vam trobar en la execució del sanitari de l'Almeda i com es van resoldre:

La distància entre el cercol perimetral i la última fila de biguetes no era suficient per a col·locar revoltos sencers així que es van tallar per a ajustar-los a la distància existent. També era insuficient la distància entre els perfils HEB 180 i les biguetes paral·leles així que es va encofrar amb peces planes ceràmiques. Aquesta solució de peces ceràmiques es va utilitzar per a les zones per on passava un baixant del sanejament i per a massissar una zona del forjat on més endavant arrencaria l'escala de l'edifici. Veure Figura 71.

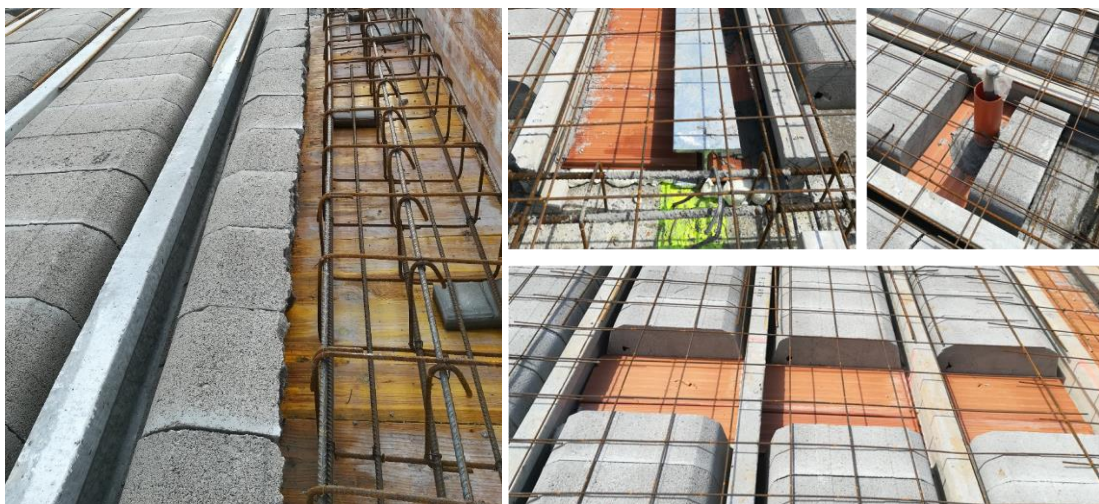


Figura 71: Solucions per als punts on no es podia col·locar revoltó. *Elaboració pròpia.*



Les prescripcions del fabricant respecte la unió biguetes i el seus recolzaments (en aquest cas les bigues transversals formigonades in situ) es poden veure en la Figura 72 (esquerra i part inferior). Es reforcen els nusos per mitjà de barres corrugades que fan d'armadura d'enllaç entre les ales inferiors de la bigueta i la biga formigonada in situ. A més, els primers 20 cm de forjat després del recolzament han d'estar massissats. Per a tal efecte el mateix fabricant de revoltos subministra una peça en forma de safata que es col·loca en la primera posició de revoltó (veure Figura 72 dreta).

L'objectiu d'aquesta rigidització és donar continuïtat a les diferents biguetes per a obtenir una biga continua amb múltiples suports intermitjos. Com podem veure en els diagrames de la Figura 73, l'esforç tallant en una biga amb suports intermitjos és màxim tant en els suports dels extrems com en els interiors. És per això que aquest massissat també serveix per a reforçar l'estructura davant l'esforç tallant. A més, en els suports interiors es crea un moment negatiu que cal reforçar amb armadures d'acer com veiem en la Figura 74.

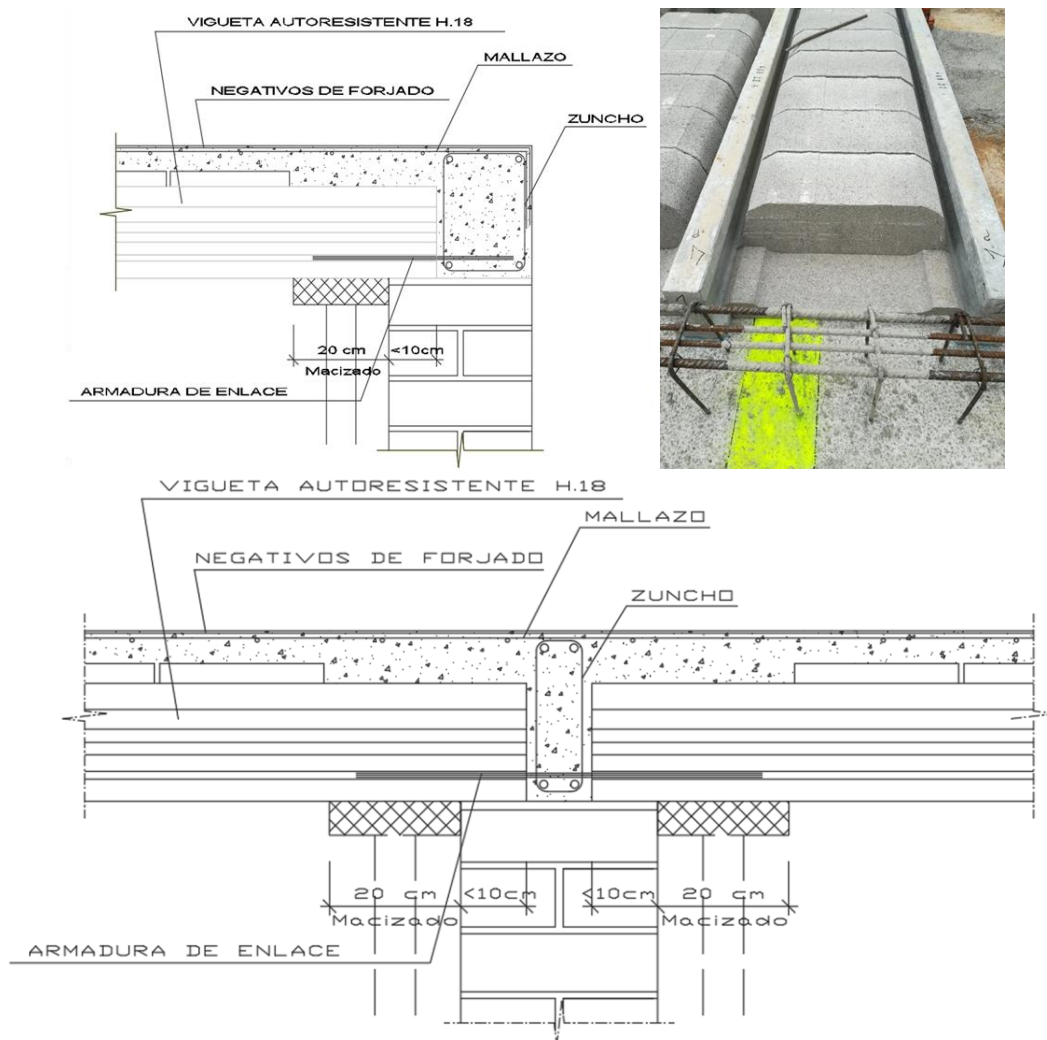


Figura 72: Rigidització del recolzament de les biguetes. *Prefabricats Pujol*.

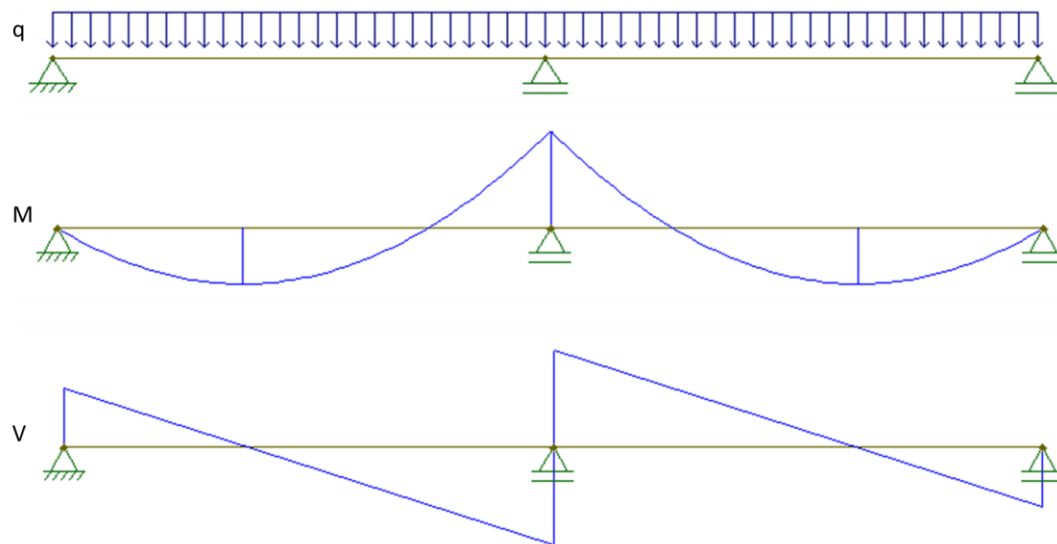


Figura 73: Moment flector i esforç tallant en una biga amb suports intermitjos.  
*Elaboració pròpia.*



Figura 74: Armadures de negatiu. *Elaboració pròpia.*

En la següent figura podem veure el forjat sanitari completament ferrallat i amb la malla electrosoldada de la capa de compressió.



Figura 75: Forjat sanitari completament ferrallat. *Elaboració pròpia.*

Finalment, el divendres 12 d'abril es va formigonar el forjat sanitari tal com es mostra en la següent figura.



Figura 76: Forjat sanitari formigonat. *Elaboració pròpia.*

### 5.6 Pilars de la planta baixa

Paral·lelament a la realització dels treballs descrits anteriorment, els muntadors d'armadures d'acer van preparar les armadures dels pilars de la planta baixa. Així que la setmana del 15 d'abril es van punxar els pilars en les esperes del forjat formigonat. Veure Figura 77.

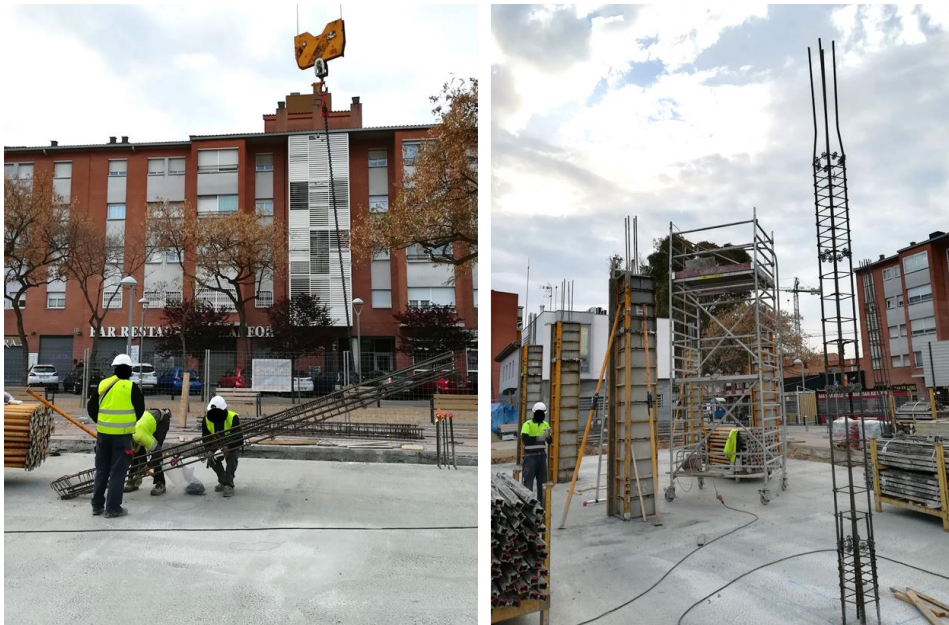


Figura 77: Operaris punxant els pilars de la planta baixa. *Elaboració pròpia.*

Un cop punxades les armadures dels pilars, aquests es van encofrar. Es va utilitzar un sistema d'encofrat modular per a pilars de secció rectangular. L'encofrat d'un pilar estava format per quatre panells ajustables a la mida del pilar que formaven un motlle de 4 parets.

Com que la majoria de pilars de la primera planta són de formigó vist es va col·locar per la cara interior dels panells una taula llisa de fusta fenòlica. Aquest tauler és completament llis i dona un millor acabat que les planxes del sistema d'encofrat contra



el formigó; ja que aquestes tenen juntes i orificis que quedarien marcats en la paret del pilar. Veure Figura 78.



Figura 78: Encofrat dels pilars. *Elaboració pròpia* /<sup>[17]</sup>

Per a construir els 24 pilars de la planta baixa es van confeccionar 8 motlles de manera que es van executar en tres cops. Hi havia 11 pilars de 30 x 30 cm i 13 pilars de 35 x 35 cm així que es van preparar 4 motlles per a cadascuna de les dimensions. Com que la quantitat de formigó que conté un pilar no és gaire elevada, aquest es va abocar amb cubilot. En la següent imatge podem veure operaris col·locant el sistema d'encofrat al voltant de l'armadura d'un pilar i formigonant-ne un altre.



Figura 79: Construcció dels pilars de la primera planta. *Elaboració pròpia*.



Cal comentar que per a garantir el recobriment de les armadures dels pilars es van col·locar separadors en alguns dels estreps de l'armat.

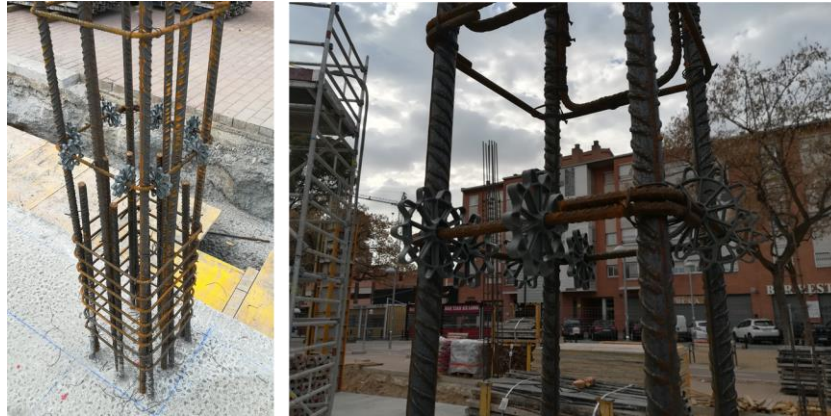


Figura 80: Separadors per a garantir el recobriment. *Elaboració pròpia.*

Fins a aquest moment el formigó emprat per a elements estructurals va ser el prescrit als plànols d'estructura: HA-25/B/20/Ia. Aquest és el codi que recull la EHE-08 per a denominar els tipus de formigons:

- HA: Formigó armat *Hormigón Armado*.
- 25: Resistència característica 25 N/mm<sup>2</sup>.
- B: Consistència tova, *blanda*.
- 20: Màxim diàmetre de l'àrid 20mm
- Ia: Agressivitat del medi, *exteriores en ausencia de cloruros, y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm.*

En el moment de desencofrar els primers sis pilars vam descobrir defectes en la seva base. Tal com s'aprecia a la Figura 81 (esquerra).

Aquests orificis s'anomenen *coqueres* i són deguts a un enduriment incorrecte del formigó. La concentració excessiva d'àrids a la part baixa del pilar va impedir que la barreja líquida d'aigua i ciment omplís tots els espais compresos entre els àrids i les parets de l'encofrat.

Com que es tractava d'orificis en la part exterior del pilar (capa de recobriment) la estabilitat d'aquest no es va veure afectada a curt termini. Les afectacions del pilar per culpa de les *coqueres* eren a mitjà i llarg termini ja que la capa de recobriment estava danyada i això podia provocar problemes de desprotecció de l'armat.

Tal com es veu en la Figura 81 el pilar va ser reparat amb un producte a base de ciment que es pot trobar al mercat per a tal efecte (veure fitxa tècnica als annexos).

L'aparició de *coqueres* en la base del pilar es pot explicar per diversos motius. Un d'ells és el vibrat insuficient que no va permetre barrejar adequadament l'àrid. Com que el formigó s'abocava des del cap del pilar era més probable que hi haguessin problemes de vibrat a la base.

A més, es tractava d'un punt amb una gran densitat d'armat ja que hi havia l'armat longitudinal del pilar i les esperes. La gran densitat de ferro havia dificultat el pas dels àrids de diàmetre 20mm. Per aquest motiu es va acordar amb la direcció facultativa utilitzar formigó amb àrid de 10mm (HA-25/B/10/Ia) per a formigonar la resta de pilars de l'edifici.

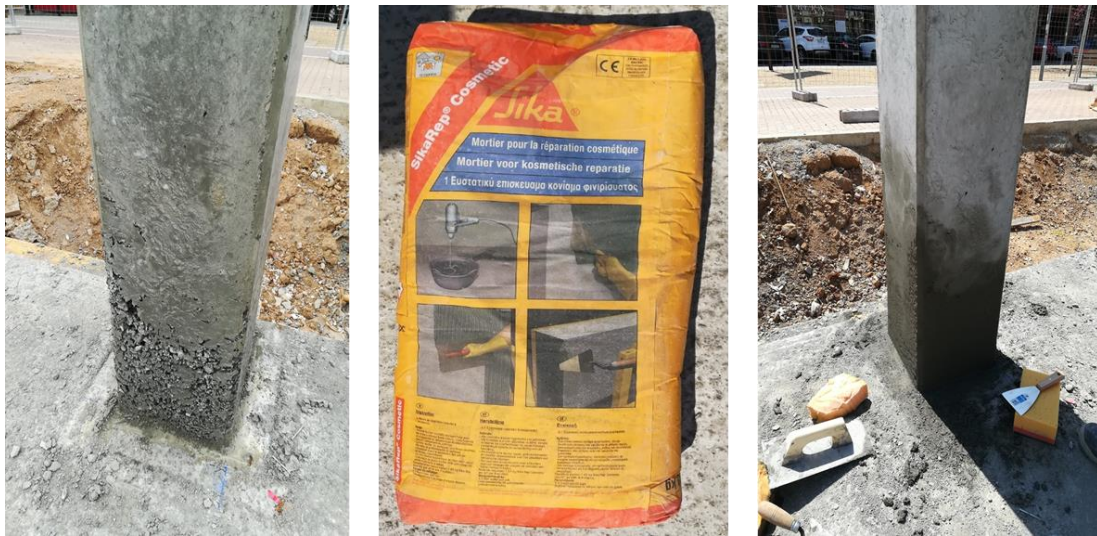


Figura 81: Reparació de coqueries en la base del pilar. *Elaboració pròpia.*

Finalment, el dijous 18 d'abril es va acabar de formigonar tots els pilars de la planta baixa. Veure Figura 82.



Figura 82: Pilars de la primera planta executats. *Elaboració pròpia.*

### 5.7 Forjat de la primera planta

El dimarts 23 d'abril van començar els treballs de muntatge de l'encofrat de la primera planta. Es tractava d'un sistema d'encofrat recuperable. Això significa que part del material utilitzat es va poder recuperar abans del desapuntament de tota la planta.

El sistema d'encofrat recuperable utilitzat (veure Figura 83) està format per una estructura portant i una estructura recuperable. L'estructura portant té la funció de suportar el pes propi i la sobrecàrrega d'ús del forjat durant el procés d'enduriment del formigó. L'estructura recuperable té la funció de sostenir el formigó en el moment en que és abocat i es troba en estat fluid i durant els primers dies d'enduriment.

L'estructura portant està formada pels puntals, que són suports capaços de transmetre càrregues verticals (marcats en blau en la Figura 83) i les bigues longitudinals (marcades en verd). L'estructura recuperable està formada per les bigues transversals (en vermell) i els taulons (en groc).

Utilitzant aquest sistema, part del material es pot recuperar pocs dies després d'haver formigonat, restant la part portant fins la finalització del forjat. D'aquesta manera els costos de lloguer de material es veuen reduïts i es pot aconseguir un menor cost d'execució de l'estructura. Així doncs, en un període mínim de tres dies després del formigonat, les bigues transversals i els taulers de fusta es poden retirar del sistema. Quedant les bigues longitudinals suportades pels puntals. Naturalment, el temps mínim per a iniciar qualsevol període de desencofrat ha d'estar validat per la direcció d'obra.

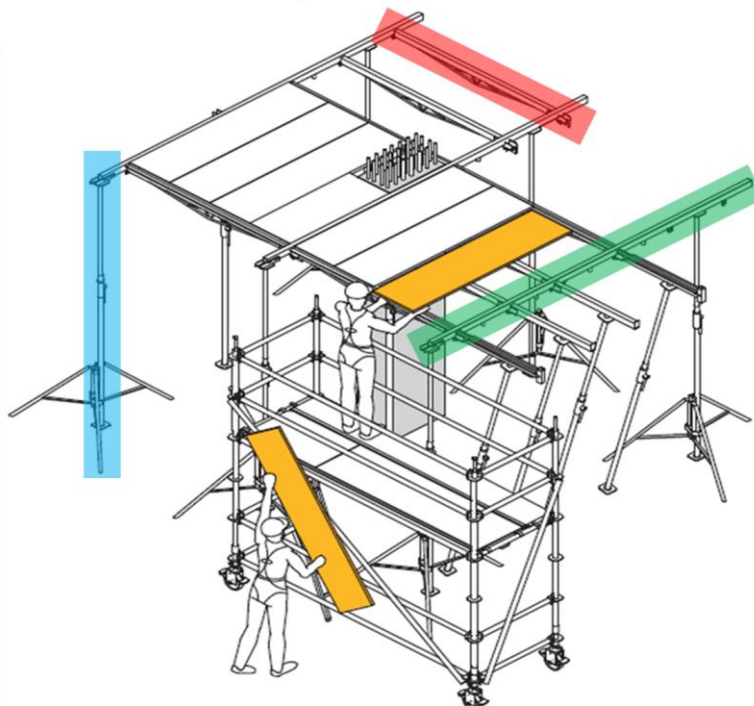


Figura 83: Esquema de muntatge de l'encofrat. [18]

Tal com veiem en la Figura 83, el procés de muntatge de l'encofrat va començar pel muntatge de les bigues longitudinals i transversals suportades pels puntals. Un cop muntada la subestructura metàl·lica es van col·locar els taulers de fusta.

Qualsevol activitat que es dugui a terme a l'obra comporta risc i per tant és essencial prendre totes les precaucions que es creguin necessàries a més de complir amb el Pla de Seguretat i Salut. S'han de prendre totes les mesures de protecció col·lectives i individuals que siguin necessàries. Segons la llei de prevenció de riscos laborals s'han de prioritzar les proteccions col·lectives per davant de les individuals.

S'entén per protecció col·lectiva aquella tècnica de seguretat l'objectiu de la qual és la protecció simultània de diversos treballadors exposats a un determinat risc. Un equip de protecció individual (EPI) és qualsevol equip destinat a ser portat o subjectat pel treballador perquè el protegeixi d'un o diversos riscos que puguin amenaçar la seva seguretat o la seva salut.



En el cas del muntatge del sistema d'encofrat dels forjats de la biblioteca de l'Almeda el perill potencial era elevat ja que els operaris havien de treballar a quatre metres d'alçada. Es van prendre mesures de seguretat col·lectives i individuals. En la següent imatge podem veure una mesura de protecció col·lectiva utilitzada: la col·locació de xarxes sota el forjat per a protegir les persones situades a la planta baixa durant el procés de muntatge de l'encofrat. Aquestes xarxes es van col·locar un cop muntada la subestructura de bigues metàl·liques de l'encofrat per a impedir la caiguda d'objectes en el procés de col·locació dels taulers de fusta. En la mateixa imatge podem veure una mesura de protecció individual: un operari col·locant taulons de l'encofrat amb un arnés lligat a una línia de vida.

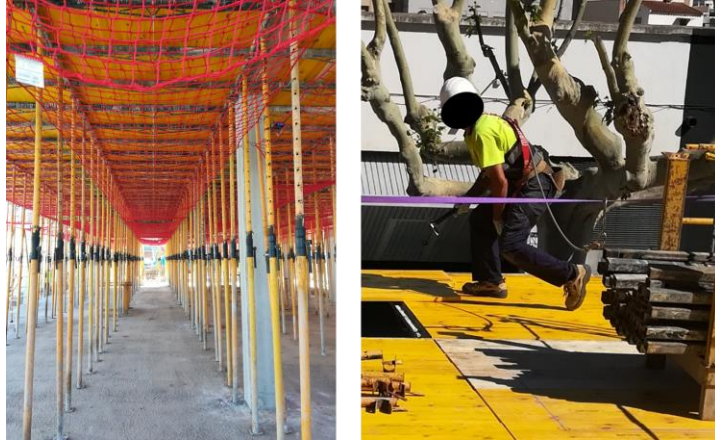


Figura 84: Proteccions col·lectives i individuals. *Elaboració pròpia.*

El forjat de la primera planta era del tipus bidireccional reticular. Els forjats bidireccionals són aquells que tenen els seus elements resistents disposats en les dues direccions ortogonals. La filosofia d'aquest tipus d'estructura consisteix en una quadrícula de bigues col·locades en dos direccions. Això permet que cada biga suporti menys pes que en els forjats unidireccionals. A més, el pes del forjat recau en els quatre costats de l'estructura i no en dos. L'armat en les dues direccions perpendiculars confereix al forjat un monolitisme molt més elevat que un forjat unidireccional, responent millor a les càrregues horitzontals de vent i sísmes.

Contràriament als forjats unidireccionals, que com hem vist abans estan compostats de biguetes prefabricades disposades en una direcció, els forjats bidireccionals s'executen in situ. Si ens imaginem un entramat de biguetes prefabricades encreuades perpendicularment ràpidament ens adonem de la inviabilitat del sistema degut entre d'altres factors al cantell del forjat. El que es fa es entrecreuar les barres d'armat en les dues direccions ortogonals i posteriorment formigonar.

El forjat bidireccional reticular executat estava format pels elements que veiem en la Figura 85. L'armat a moment positiu i negatiu (reforços inferiors i superiors) es va col·locar en carrils perpendiculars entre cassetons. Els cassetons són elements alleugeridors del forjat amb una funció idèntica als revoltos dels forjats unidireccionals. Poden ser igualment de formigó, ceràmica o poliestirè expandit. En el cas de la biblioteca de l'Almeda es van utilitzar cassetons de formigó (veure fitxa tècnica als annexos).

A part de l'acer de l'armadura inferior i superior, els forjats bidireccionals tenen elements d'armadura de muntatge. Aquests elements serveixen per a poder col·locar les barres amb funció estructural en la seva posició. Podem veure aquests suports en la Figura 85 i

Figura 86. Els elements de suport per als reforços inferiors també s'utilitzen com a armat a tallant en les zones properes als pilars.

Igualment que en el forjat unidireccional, es va executar una capa de compressió amb 5 cm de formigó i malla electrosoldada (*mallazo*). El cantell total del forjat era de 35 cm, per tant per a aconseguir una capa de compressió de 5 cm es van posar cassetons de 30 cm d'alçada (23 x 70 x 30 cm).

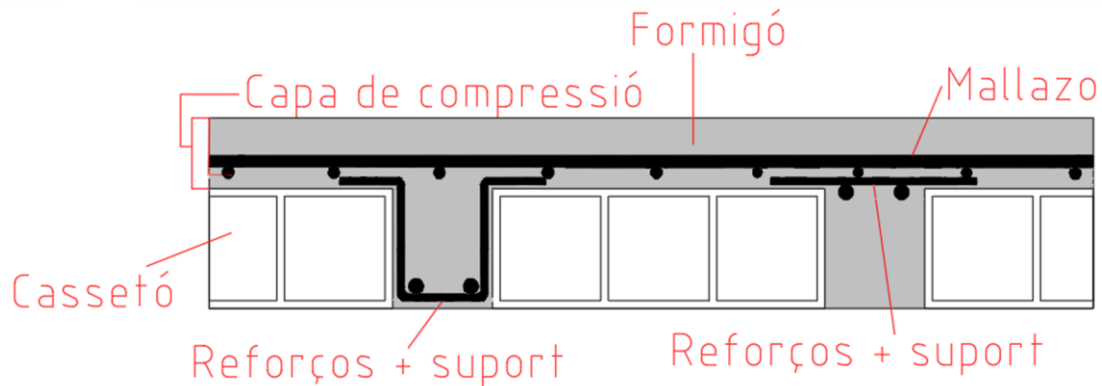


Figura 85: Esquema d'un forjat bidireccional reticular. *Elaboració pròpia.*



Figura 86: Suports per als reforços. *Elaboració pròpia.*

Un cop encofrada tota la primera planta es van dur a terme treballs de replanteig per a marcar la posició dels cassetons i els carrils. En la següent imatge podem veure la planta amb part dels cassetons posicionats. Aquests es van col·locar en grups de 3 per a fer els carrils en dues direccions ortogonals.



Figura 87: Col·locació de cassetons. *Elaboració pròpia.*

Posteriorment a la col·locació dels cassetons es va procedir a muntar les armadures de muntatge per als reforços. També es van muntar les creuetes de punxonament (veure Figura 88).

Les creuetes de punxonament són elements que tenen per objectiu resistir l'esforç tallant elevat en l'àmbit del pilar. Les tensions tangencials excessives poden provocar una fallada brusca sense avís previ. La filosofia de l'armat a punxonament és reforçar una àrea al voltant del perímetre del pilar amb barres verticals per a "cosir" la possible superfície de trencament. La solució més habitual és col·locar barres verticals disposades com a estreps d'unes bigues virtuals embegudes en el formigó: les creuetes de punxonament.



Figura 88: Creueta de punxonament. *Elaboració pròpia.*

Per a garantir el recobriment de l'armat inferior de la zona massissada al voltant dels pilars es va utilitzar la solució de la següent figura. En tots els elements estructurals: forjats, pilars, cobertes, bigues i fonaments s'ha considerat un recobriment nominal de 3.5 cm.





Figura 89: Solució per al recobriment de l'armat inferior. *Elaboració pròpia.*

En la Figura 90 podem veure la planta completament ferrallada. Es poden observar els elements descrits anteriorment com el creuament dels reforços en les dues direccions ortogonals, l'armadura de suport i el *mallazo* de la capa de compressió.



Figura 90: Primera planta ferrallada. *Elaboració pròpia.*

Finalment, el 6 de maig es va formigonar la planta. Degut a l'alçada i la superfície del forjat, es va decidir formigonar mitjançant una bomba de formigó (veure Figura 91). Aquesta màquina permet abocar grans quantitats de formigó amb poc temps i molta maniobrabilitat degut al braça articulat i la mànega en la part final, que permet un gran control de la operació.





Figura 91: Formigonat del forjat. *Elaboració pròpia.*

Una setmana després del formigonat es va retirar la part recuperable de l'encofrat, deixant les bigues longitudinals i els puntals. En podem veure els resultats a la Figura 92.



Figura 92: Forjat desencofrat. *Elaboració pròpia.*

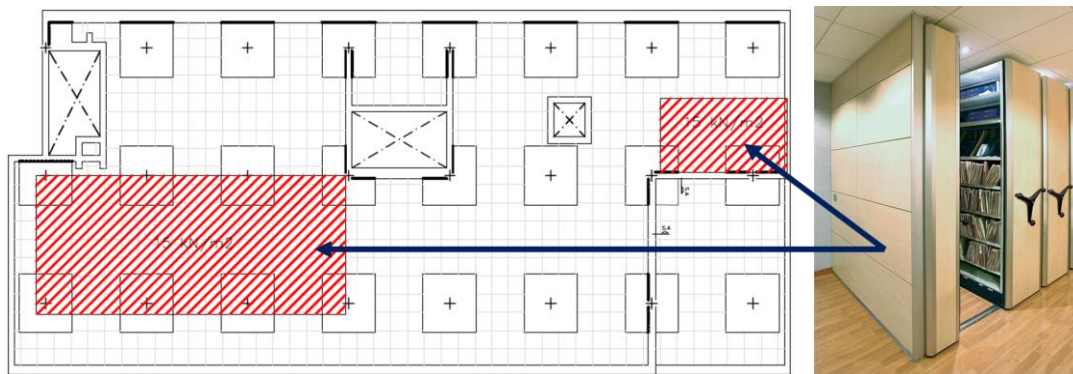
És interessant comentar que tant el forjat sanitari de la planta baixa com el forjat reticular de la primera planta han estat dissenyats considerant una sobrecàrrega d'ús de  $5 \text{ kN/m}^2$ , un valor característic prescrit pel CTE per a zones d'accés al públic. Si ens fixem en la taula 3.1 del CTE (DB seguretat estructural, accions en la edificació) mostrada en la següent figura observem que aquesta sobrecàrrega d'ús és 2,5 vegades més gran a al valor característic prescrit per a vivendes.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m <sup>2</sup> ]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 <sup>(1)</sup>
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente <sup>(2)</sup>			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación <sup>(3)</sup>	G1 <sup>(7)</sup>	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 <sup>(4)(6)</sup>	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) <sup>(5)</sup>	0,4 <sup>(4)</sup>	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Figura 93: Valors característics de sobrecàrrega d'ús prescrits pel CTE. [19]

A més, el projecte executiu de la biblioteca preveu la col·locació d'armaris mòbils en dues zones de la primera planta. L'elevat pes d'aquest tipus mobiliari va implicar triplicar la sobrecàrrega d'ús en dues zones (veure Figura 94) del forjat reticular de la primera planta. La sobrecàrrega d'ús en aquestes zones és doncs de 15 kN/m<sup>2</sup> enlloc de 5kN/m<sup>2</sup> com en la resta del forjat de la primera planta i la planta baixa.

Figura 94: Zones amb sobrecàrrega d'ús de 15 kN/m<sup>2</sup>. Projecte executiu de la biblioteca de l'Almeda.

### 5.8 Pilars primera planta

Com podem veure en la següent figura, de la mateixa manera que en el pilars de la planta baixa, els muntadors de ferralla van poder preparar l'armat dels pilars fora de la planta. De manera que mentre es realitzaven els treballs de construcció del forjat de la primera planta també es podia treballar en una zona apartada preparant els pilars.



Figura 95: Ferrallat de pilars fora de planta. *Elaboració pròpia.*

Els pilars es van punxar a les esperes, encofrar i formigonar del 7 al 10 de maig. El procediment emprat va ser el mateix que en els pilars de la planta anterior. Igualment, es tractava de 24 pilars però en aquest cas tots de 30 x 30 cm de secció.

Es van poder aprofitar 4 dels 8 motlles d'encofrat de la planta anterior (els 4 que s'havien muntat per a pilars de 30 x 30 cm) i es van modificar els 4 motlles de 35 x 35 cm per a poder encofrar pilars de 30 x 30 cm.

De la mateixa manera que en la planta anterior, els pilars es van formigonar en 3 operacions on es van executar 8 pilars cada cop mitjançant cubilot.

### 5.9 Coberta A

La coberta A consistia en una coberta plana formada per un forjat bidireccional de 35 cm de cantell com el de la primera planta. Es tractava d'una coberta plana només transitable per a manteniment, així que la sobrecàrrega d'ús era en aquest cas 1kN/m<sup>2</sup>.

Cal comentar que en aquesta coberta estava prevista una impermeabilització de poliurea. Aquest tipus d'impermeabilització s'executa projectant el polímer sobre la superfície de formigó. Els fabricants i aplicadors d'impermeabilitzacions de poliurea requereixen una superfície fina i regular on aplicar el seu producte així que després de formigonar la coberta es va procedir a fratar el paviment. Veure figura Figura 96.



Figura 96: Fratassat de la coberta A per a impermeabilització amb poliurea. *Elaboració pròpia.*



En el procés de ferrallat de la coberta es van deixar embegudes en el forjat 8 pletines d'acer de 300 x 200 x 10 mm amb 4 potes de diàmetre 10mm de 30 +30 cm (formant un angle de 90°).

Per a assegurar que la part inferior de la pletina quedés ben formigonada, es va fer que cadascuna d'elles contingués un forat al centre de la placa per a poder inspeccionar visualment que el formigó havia omplert la part inferior d'aquestes. L'objectiu d'aquests elements era proporcionar una base metàl·lica on poder soldar els 8 pilars metàl·lics que suporten la coberta B.

Es tractava de 8 pilars tubulars de 120 x 200 x 6 mm. Com podem veure en la imatge, els pilars metàl·lics també disposaven de creuetes de punxonament formades per perfils UPN 120 envoltats d'armat a tallant format per estreps de diàmetre 6mm cada 10 cm.

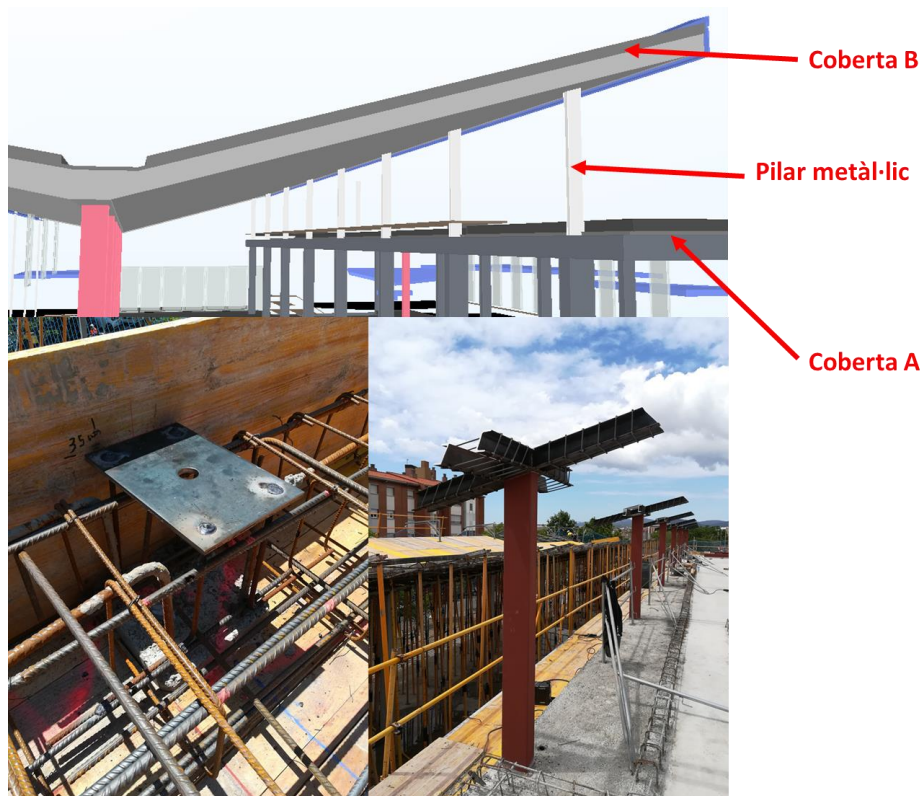


Figura 97: Pilars metàl·lics. *Elaboració pròpia.*

El 28 de maig van acabar els treballs de la coberta B: formigonat de la planta i col·locació dels pilars metàl·lics. El formigonat es va fer amb bomba de formigó.

### 5.10 Coberta B

L'últim element de l'estructura de la biblioteca de l'Almeda en ser executat va estar la coberta B: del 21 de maig al 12 de juny. Novament, es va formigonar amb bomba de formigó.

Es tractava d'una coberta inclinada no transitable amb una sobrecàrrega d'ús de 1kN/m². Aquesta, a diferència de la coberta A, no era un forjat bidireccional alleugerit amb cassetons, sinó que es tractava d'una llosa de formigó.

Aquest sistema estructural és el més senzill en quant al nombre d'elements que el componen ja que només està format pel formigó i l'armat superior i inferior. La llosa de la biblioteca de l'Almeda tenia 22 cm de cantell i estava armada superior i inferiorment amb una quadrícula de barres longitudinals i transversals de barres de diàmetre 8 mm. En Figura 98 podem veure el procés de ferrallat de la planta.



Figura 98: Coberta B. *Elaboració pròpia / Projecte executiu de la biblioteca de l'Almeda.*

El sistema d'encofrat utilitzat va ésser el mateix que el fet servir en els altres forjats, ja que la inclinació de la coberta de 15° permetia el muntatge de les bigues longitudinals i transversals del sistema d'encofrat.

Cal comentar que a més dels elements separadors per a garantir el recobriment de l'armat, en les lloses massisses són necessàries les gelosies. Aquests elements tenen la funció de suportar l'armat superior sobre l'inferior i donar el cantell adequat a la llosa. Em veiem un exemple a la següent imatge:



Figura 99: Gelosia. *Elaboració pròpia.*

### 5.11 Control de qualitat

La direcció facultativa té la obligació de comprovar que la qualitat dels productes que s'utilitzen a obra és com a mínim la establerta en el projecte. S'ha de prestar especial atenció a tots aquells productes i materials que es quedaran a l'edifici de manera permanent.

La direcció facultativa ha de confeccionar un pla de control de qualitat que inclogui el control dels productes que arribin a obra. En el cas de la biblioteca de l'Almeda la direcció facultativa va facilitar un llistat de la documentació requerida per als diferents materials recepcionats (fitxes tècniques, declaracions de prestacions, marcatges CE i cartes de subministrament entre d'altres). Aquesta documentació va ser recopilada per l'equip d'obra i facilitada a la direcció facultativa a mesura que els productes arribaven a obra.

El pla de control de qualitat també incloïa una sèrie d'assajos de control de l'execució de diversos aspectes de l'obra com per exemple proves de càrrega del cel ras, proves d'estanqueïtat de la impermeabilització de poliurea o bé la determinació dels gruixos de la pintura ignífuga de l'estructura metàl·lica. Durant el període temporal descrit en aquest treball es van dur a terme els assajos de qualitat del formigó de l'estructura i l'assaig de partícules de les soldadures metàl·liques dels pilars. Els assajos van ser realitzats per una empresa de control de qualitat subcontractada per Constructora de Calaf S.A.U. Tots els assajos van tenir un resultat satisfactori i no va ser necessari repetir cap element estructural de formigó ni cap soldadura.

#### 5.11.1 Assajos de resistència del formigó

El pla de control de qualitat exigia l'assaig a compressió de provetes de formigó segons la norma UNE EN 12390-2 [20] i l'article 86.3.3 de la EHE-08 [21]. La quantitat de provetes a assajar també estava determinada en el pla de control de qualitat. Per cada 100 m³ de formigó es fabricava un lot de provetes. Cada lot de provetes estava format per tres sèries de provetes provinents de tres cubes de formigó diferents. Cadascuna de les sèries contenia 6 provetes, que es trencaven a diferents dies. En els cas dels pilars s'exigia una sèrie de 6 provetes per cada cuba de formigó. Com que tant els pilars de la planta baixa com els de la primera planta es van formigonar amb tres cubes diferents, es van dur a terme 3 sèries de 6 provetes per als pilars de cada planta. La següent taula mostra la quantitat de provetes que es van fer per a cada element estructural:

Taula 3: Lots de provetes dels elements estructurals de l'edifici. *Elaboració pròpia.*

Element estructural	Formigó [m³]	Provetes
Sabates i riostres	133	2 lots (6 sèries de 6 provetes)
Bigues transversals (part inferior)	13	1 lot (3 sèries de 6 provetes)
Forjat sanitari	80	1 lot (3 sèries de 6 provetes)
Pilars planta baixa	10	Totes les cubes (3 sèries de 6 provetes)
Forjat reticular sostre planta baixa	177	2 lots (6 sèries de 6 provetes)
Pilars primera planta	10	Totes les cubes (3 sèries de 6 provetes)
Coberta A	63	1 lot (3 sèries de 6 provetes)
Coberta B	99	1 lot (3 sèries de 6 provetes)



Per una sèrie de 6 provetes:

- 1 proveta es trencava a 7 dies
- 3 provetes es trencaven a 28 dies
- 1 proveta es trencava a 56 dies
- 1 proveta no es trencava i es guardava de reserva

Cal comentar que tots els mètodes de càlcul i especificacions de la EHE-08 fan referència a les característiques dels formigó endurit en provetes cilíndriques de Ø15 x 30 cm. Aquest tipus de proveta va ser la utilitzada en tots els assajos realitzats en les obres de la biblioteca de l'Almeda (veure Figura 100).



Figura 100: Provetes de Ø15 x 30 cm. *Elaboració pròpia.*

Es tracta d'un motlle metàl·lic on un operari aboca el formigó i posteriorment enrasa la cara superior. Com que una de les cares ha estat enrasada manualment per l'operari i pot ser que no sigui totalment paral·lela a la cara inferior creada pel motlle, la cara superior es poleix mecànicament. D'aquesta manera s'aconsegueix un cilindre perfecte que es pot assajar a compressió.

No obstant, per a assegurar el paral·lelisme entre cares sense la necessitat de polir també es poden utilitzar provetes cúbiques. L'article 86.3.2 de la EHE-08 facilita els factors de conversió corresponents per a traduir els resultats obtinguts amb provetes cúbiques a resultats de provetes cilíndriques de Ø15 x 30 cm.

$$f_c = \lambda_{cl,cub15} \cdot f_{c,cúbica}$$

donde:

$f_c$  Resistencia a compresión, en N/mm<sup>2</sup>, referida a probeta cilíndrica de 15x30cm.

$f_{c,cúbica}$  Resistencia a compresión, en N/mm<sup>2</sup>, obtenida a partir de ensayos realizados en probetas cúbicas de 15cm de arista.

$\lambda_{cl,cub15}$  Coeficiente de conversión, obtenido de la Tabla 86.3.2.a

Tabla 86.3.2.a Coeficiente de conversión

Resistencia en probeta cúbica, $f_{c_c}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\lambda_{cl,cub15}$
$f_c < 60$	0.90
$60 \leq f_c < 80$	0.95
$f_c \geq 80$	1.00

Figura 101: Factors de conversió per a traduir resultats de provetes cúbiques i cilíndriques de la EHE-08. *EHE-08 Capítol XVI.*

Un cop fabricades les provetes, es van mantenir en el motlle convenientment protegides, durant almenys 16 hores i mai més de tres dies. Durant la seva permanència a l'obra no van ser colpejades ni mogudes de la seva posició i es van mantenir a protegides del vent i del sol. Veure Figura 102:



Figura 102: Sèrie de 6 provetes. *Elaboració pròpia.*

#### 5.11.2 Assajos de docilitat del formigó

La docilitat és una propietat del formigó fresc que fa referència a la seva facilitat de manipulació. Els formigons dòcils seran aquells que permetin omplir l'encofrat sense deixar racons buits, envoltar adequadament totes les armadures i sense perdre la homogeneïtat.

Es va mesurar la docilitat del formigó en cadascuna de les sèries de provetes realitzades. L'assaig es va dur a terme segons la norma UNE EN 12350-2 [22] mesurant l'assentament per mitjà del con d'Abrams. L'assaig es va realitzar dos cops per sèrie.

La metodologia del con d'Abrams consisteix en omplir un motlle de formigó (con d'Abrams) i mesurar l'assentament del formigó un cop enretirat el motlle. Veiem-ne un exemple en la Figura 103.

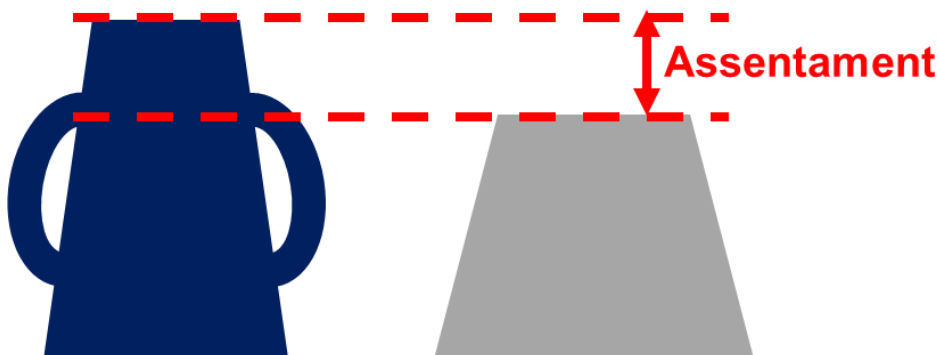


Figura 103: Assaig del con d'Abrams. *Elaboració pròpia.*

En funció de la longitud de l'assentament es determina la consistència del formigó [23] segons la Taula 4

Taula 4: Consistència del formigó en funció de l'assentament. EHE-08.

Consistència	Assentament [cm]
Seca (S)	0-2
Plàstica (P)	3-5
Tova (B)	6-9
Fluida (F)	10-15
Líquida (L)	16-20

La consistència adequada per a compactar el formigó mitjançant un vibrador és la tova. Aquesta era la consistència del formigó utilitzat a l'Almeda.

En alguns casos també s'utilitza la consistència fluida: en elements difícils de formigonar o compactar com murs primers o cimentacions profundes. En el cas de d'haver de bombejar el formigó a molta alçada també es pot arribar a fer servir la consistència fluida, però en el cas de la biblioteca de l'Almeda l'alçada dels forjats va permetre utilitzar la bomba amb formigó de consistència tova.

La següent figura mostra l'informe de laboratori amb els resultats dels assajos de resistència i docilitat del formigó del forjat sanitari d'una de les 3 sèries del lot de provetes. Serveix per a exemplificar el format dels informes del laboratori utilitzats durant l'obra. Com en la resta d'informes s'observa que la resistència del formigó HA-25 a 28 dies és superior a 25 N/mm<sup>2</sup>. Pel que fa a la docilitat, es pot observar que amb un assentament de 7cm estem en consistència tova.

<b>ELEMENTO HORMIGONADO: FORJADO SANITARIO.</b>						
<b>TOMA DE MUESTRA según UNE EN 12350-1 Y ENSAYO DOCILIDAD según UNE EN 12350-2</b>						
FECHA DE TOMA: 12/04/2019	ANALISTA:	TIPO MUESTREO: Puntual	MODALIDAD DE MUESTREO: ML			
INICIO TOMA: 09:10	FIN TOMA: 09:25	TEMP. TOMA: 9 °C	HUMEDAD TOMA: 66%			
CONO 1: 70 mm.	CONO 2: 70 mm.	MEDIA CONO: 70 mm.	TIPO ASENTAMIENTO: Simétrico			
<b>FABRICACIÓN Y CONSERVACION DE LAS PROBETAS HASTA EL ENSAYO, según UNE EN 12390-2 y Art. 86,3,2 de la EHE-08</b>						
PROBETAS: 6 Cilíndricas Ø15 x 30 cm CURADO INICIAL EN OBRA: Intemperie / Enfundadas en plástico						
FECHA RECOGIDA: 15/04/2019	HORA RECOGIDA: 08:30	TEMP. RECOGIDA: 14 °C	HUMEDAD RECOGIDA: 76%			
TIEMPO DE PERMANENCIA EN OBRA: 71 HORAS		CURADO EN CÁMARA DE CONDICIONES ESTANDAR DESDE: 15/04/2019				
<b>PREPARACIÓN Y ENSAYO DE ROTURA A COMPRESIÓN según UNE EN 12390-3 Y Art. 86,3,2 de la EHE-08</b>						
Ajuste de las probetas de ensayo mediante: Pulido		PRENSA: MATEST C089P309, CLASE 1				
Probeta número	Edad hormigón (días)	Fecha de ensayo	Carga de rotura (kN)	Tensión de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Tensión media (N/mm <sup>2</sup> )	Notas
1	7	19/04/2019	422,69	23,9	23,9	
2	21	03/05/2019	483,38	27,4	27,4	
3	28	10/05/2019	633,52	35,9	36,1	
4	28	10/05/2019	638,9	36,2		
5	28	10/05/2019	641,9	36,3		
6	56	07/06/2019	654,35	37,0	37,0	

Figura 104: Assajos de resistència i docilitat del formigó del forjat sanitari.

### 5.11.3 Assaig de partícules magnètiques

Per a comprovar la qualitat de les soldadures dels pilars metàl·lics es va dur a terme una inspecció per partícules magnètiques.

L'assaig per partícules magnètiques [24] s'aplica a materials ferromagnètics. S'aplica un camp magnètic en el material. Si existeixen discontinuïtats en el material es formen distorsions en el camp magnètic en els punts de discontinuïtat.

Per a realitzar la prova es va aplicar una pintura blanca a base de spray amb partícules de ferro en suspensió. A continuació s'aplicava un camp magnètic sobre la soldadura mitjançant un jou magnètic. En cas d'existir una discontinuïtat en la soldadura les partícules suspeses en la pintura serien atretes cap al punt en qüestió. El contrast de les partícules negres amb la pintura blanca permetria identificar clarament els defectes en les soldadures.



Figura 105: Assaig per partícules magnètiques. *Elaboració pròpia.*



## 5.12 Costos i amidaments

L'objectiu d'aquest apartat és recollir els amidaments dels principals materials utilitzats en la construcció de l'estructura de l'edifici. A més, es dona una valoració aproximada amb preus de mercat d'aquests amidaments per a obtenir una estimació de l'import dels costos directes principals d'adquisició i posada en obra d'aquests materials.

Taula 5: Amidaments principals i estimació dels costos directes. Elaboració pròpia.

<b>Acer corrugat</b>						
	<b>Amidament</b>	<b>Unitats</b>	<b>Preu</b>	<b>Unitats preu</b>	<b>Import</b>	<b>Unitats import</b>
Fonaments	6100	kg	0,75	€/kg	4575	€
Forjat Sanitari	5600	kg	0,75	€/kg	4200	€
Pilars PB	2500	kg	0,75	€/kg	1875	€
Forjat PP	18000	kg	0,75	€/kg	13500	€
Pilars PP	1000	kg	0,75	€/kg	750	€
Coberta A	7000	kg	0,75	€/kg	5250	€
Coberta B	9000	kg	0,75	€/kg	6750	€
Muntatge acer	49200	kg	0,3	€/kg	14760	€
<b>Subtotal</b>					<b>51660</b>	<b>€</b>
<b>Formigó</b>						
	<b>Amidament</b>	<b>Unitats</b>	<b>Preu</b>	<b>Unitats preu</b>	<b>Import</b>	<b>Unitats import</b>
Sabates	133	m3	67	€/m3	8911	€
Bigues transversals	13	m3	67	€/m3	871	€
Forjat sanitari	80	m3	67	€/m3	5360	€
Pilars PB	10	m3	68	€/m3	680	€
Forjat PP	177	m3	67	€/m3	11859	€
Pilars PP	10	m3	68	€/m3	680	€
Coberta A	63	m3	67	€/m3	4221	€
Coberta B	99	m3	67	€/m3	6633	€
Encofrat i formigonat	585	m3	150	€/m3	87750	€
<b>Subtotal</b>					<b>126965</b>	<b>€</b>
<b>Biguetes</b>						
	<b>Amidament</b>	<b>Unitats</b>	<b>Preu</b>	<b>Unitats preu</b>	<b>Import</b>	<b>Unitats import</b>
145 Biguetes de 4,8 m	696	m	5,5	€/m	3828	€
<b>Subtotal</b>					<b>3828</b>	<b>€</b>
<b>Revoltons</b>						
	<b>Amidament</b>	<b>Unitats</b>	<b>Preu</b>	<b>Unitats preu</b>	<b>Import</b>	<b>Unitats import</b>
Revoltons	2400	unitats	1	€/unitat	2400	€
<b>Subtotal</b>					<b>2400</b>	<b>€</b>
<b>Cassetons</b>						
	<b>Amidament</b>	<b>Unitats</b>	<b>Preu</b>	<b>Unitats preu</b>	<b>Import</b>	<b>Unitats import</b>
Cassetons	2550	unitats	0,95	€/unitat	2422,5	€
<b>Subtotal</b>					<b>2422,5</b>	<b>€</b>
<b>Estructura Acer</b>						
	<b>Amidament</b>	<b>Unitats</b>	<b>Preu</b>	<b>Unitats preu</b>	<b>Import</b>	<b>Unitats import</b>
HEB 180 reforç ascensor	1	unitats	2600	€	2600	€
Plaques encofrat perdut	1	unitats	400	€	400	€
Pilars metàl·lics	8	unitats	700	€/unitat	5600	€
Pletines	8	unitats	85	€/unitat	680	€
<b>Subtotal</b>					<b>9280</b>	<b>€</b>
<b>Sistema Antivibratori</b>						
	<b>Amidament</b>	<b>Unitats</b>	<b>Preu</b>	<b>Unitats preu</b>	<b>Import</b>	<b>Unitats import</b>
Revoltons	1	unitats	38000	€/unitat	38000	€
<b>Subtotal</b>					<b>38000</b>	<b>€</b>
<b>TOTAL ESTIMACIÓ COSTOS DIRECTES PRINCIPALS</b>					<b>234555,5</b>	



## 6 Cost del projecte

Aquest projecte ha estat realitzat arrel d'una experiència de pràctiques acadèmiques externes corresponents als 18 crèdits d'assignatures del bloc optatiu del Q4 del MUEI.

Aquests corresponen a 540 hores de pràctiques. Durant el període laboral he adquirit els coneixements i experiències que m'han servit per redactar aquest document. La redacció del treball ha estat fora de l'horari laboral i ha necessitat 250 hores. Com a materials utilitzats s'ha de comptabilitzar un ordinador portàtil i una càmera fotogràfica.

Així doncs, tenint en compte l'import de les eines utilitzades i el preu per hora que estableix l'escola per a la realització de pràctiques externes el cost del projecte queda recollit en la següent taula:

Taula 6: Cost del treball. Elaboració pròpia.

Concepte	Preu	Unitats	Import
540 h de pràctiques	8	€/h	4320 €
250 h de redacció	8	€/h	2000 €
1 Ordinador portàtil	550	€/unitat	550 €
1 Càmera fotogràfica	140	€/unitat	140 €
<b>TOTAL</b>			<b>5210 €</b>



## 7 Conclusions

Amb aquest treball vaig pretendre desenvolupar un estudi descriptiu de la construcció d'un edifici per a entendre'n l'execució i els agents principals que hi intervenen. A més, fer-se una idea del rumb que prendrà l'edificació en els propers anys..... I crec haver-ho aconseguit, ja que he pogut documentar cronològicament els treballs realitzats en l'estructura.

Alhora, el desenvolupament del treball m'ha obligat a reflexionar sobre el dia a dia de la seva execució, tant pel que fa al seu procediment constructiu com a la seva filosofia.

He descobert que s'aprèn del que es fa, sobretot quan es reflexiona sobre el que es fa, com es fa i perquè es fa. I la elaboració del treball m'ha obligat a reflexionar i per tant m'ha permès aprendre. Espero que aquest procés, a més de ser d'utilitat per a mi, ho sigui també per el futur lector del mateix.

La participació en la construcció ha permès entendre com està organitzat el sector de la construcció i conèixer noves tendències com BIM i *Lean Construction*. Tant per la seva aplicació directa en l'obra com per la recerca bibliogràfica ampliant coneixements que se n'ha derivat.

El fet de veure de primera mà com es construeix una estructura permet adonar-se de detalls que no s'imaginen fàcilment. Una de les coses que més m'ha sorprès i que he tingut ocasió d'aprendre ha estat la quantitat d'armadures i elements de muntatge necessàries en una estructura de formigó armat. Es tracta d'elements sense funció resistent que serveixen per a sustentar barres amb funció estructural o bé per garantir-ne el recobriment.

A més, veure com es construeix una estructura ajuda a poder projectar-la per a que sigui construïble. Conèixer el procediment d'encofrat i de vibrat és molt important per a dissenyar l'estructura. Un disseny estructuralment correcte però de difícil execució pot comportar problemes.

La diferència d'interessos entre les parts implicades en el projecte constructiu pot comportar problemes en l'execució. Tot i que és cert que BIM és una eina que permet que totes les parts implicades treballin des de l'inici del projecte de manera conjunta encara queda un gran camí per recórrer. Cal que la implantació d'aquesta tecnologia es faci de manera transversal i que sigui utilitzada per totes les parts implicades (incloent els subcontractistes i els fabricants).

Si bé és cert que molts fabricants estan creant objectes BIM, també és cert que no tots ho fan, o no ho fan amb la mateixa qualitat. Penso que en el moment de dissenyar, els projectistes escolliran els objectes BIM més ben modelats o que estiguin més al seu abast. De la mateixa manera que es fa avui en dia amb els blocs de CAD.

Es possible que l'objecte prescrit pel projectista no sigui el més òptim econòmicament per al constructor. Si finalment l'objecte es canvia en fase d'obra s'ha d'estar disposat a modificar el model BIM. Per aquest motiu considero que és tan important el model organitzatiu IPD on tothom treballa conjuntament des del principi.

Opino que avui en dia encara es considera el BIM com un instrument per a veure un edifici en 3D. De fet, aquest és bàsicament l'ús que n'hem fet en la construcció de la biblioteca. Fins que no se'n faci un ús més generalitzat no es podrà desenvolupar tot el potencial d'aquesta tecnologia.

*Last Planner System* ajuda a estructurar-se mentalment i tenir clar que és el que urgeix en cada moment. A més, es tracta d'una metodologia que requereix una mínima inversió, i per tant, de molt interès per a ésser implantada massivament.

Ara bé, la planificació LPS va molt més enllà del que hem pogut fer a l'Almeda ja que no sempre es fàcil reunir a tots els industrials i aconseguir que es comprometin a planificar acuradament sense *buffers* temporals.

En definitiva, la realització d'aquest treball ha estat per a mi un instrument d'aprenentatge molt potent, i espero que també sigui un element facilitador d'aprenentatge per a futurs lectors.

## 8 Agraïments

Aquest és un treball de fi de màster i per tant un treball de final dels meus estudis a l'ETSEIB, on he cursat també el grau.

Redactant aquests agraïments me'n recordo d'aquelles persones que a primer de carrera eren els meus companys i ara són els meus amics.

Recordo les llarguïssimes jornades d'estudi a la biblioteca preparant els exàmens. Recordo el sentiment d'equip i el compromís ajudant-nos els uns als altres. Gràcies a tots vosaltres la carrera ha estat més amena i més feliç.

Vull agrair també al professor Frederic Marimon la seva ajuda i el seu tracte exquisit acompanyant-me en el desenvolupament d'aquest treball.

Naturalment, vull agrair a la meva família el recolzament que m'han donat durant tota la carrera.

Finalment, m'agradaria transmetre el meu agraïment més profund als meus companys de la Constructora de Calaf: la Marta, en Gabriel, en Josep Maria i l'Agustí.

Moltes gràcies per la vostra paciència i la vostra comprensió. Moltes gràcies també per tot el que m'heu ensenyat, que és molt més que el que hi pugui haver escrit en aquest treball. Darrere els grans professionals també hi ha grans persones.





## 9 Bibliografia

- [1] Ministerio de Vivienda (2013). *Código Técnico de la Edificación. Parte 1. Anejo I. Contenido del Proyecto.*
- [2] Àrea Metropolitana de Barcelona (2017). *Projecte executiu d'una biblioteca al barri de l'Almeda.*
- [3] BuildingSMART Spanish Chapter. (2019). *¿Qué es BIM?*. [online] Available at: <https://www.buildingsmart.es/bim/> [Accessed 2 Jun. 2019].
- [4] Reyes Rodríguez, A., Candelario Garrido, A. and Cordero Torres, P. (2016). *BIM, diseño y gestión de la construcción.* [Madrid]: Anaya Multimedia.
- [5] Metabase.itec.cat. (2019). [online] Available at: <https://metabase.itec.cat/bim/es/filter?src=butBim> [Accessed 2 Jun. 2019]
- [6] NBS (2019). *National BIM Report.* [online] Available at: <https://www.thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2019> [Accessed 2 Jun. 2019].
- [7] Obras Urbanas. (2019). *BIM6D - La sexta dimensión: BIM aplicado a la eficiencia energética.* [online] Available at: <https://www.obrasurbanas.es/bim6d-sexta-dimension-bim-eficiencia/> [Accessed 2 Jun. 2019].
- [8] Entorno BIM. Fundación Laboral de la Construcción. (2019). *Las dimensiones BIM para los no iniciados en la materia - Blog Metodología BIM.* [online] Available at: <http://blog.entornobim.org/las-dimensiones-bim-los-no-iniciados-la-materia/> [Accessed 2 Jun. 2019].
- [9] BuildingSMART Spanish Chapter. (2019). *La Asociación.* [online] Available at: <https://www.buildingsmart.es/bssch/la-asociaci%C3%B3n/> [Accessed 2 Jun. 2019].
- [10] Observatorio es.BIM (2019). *Sexto Informe.* [online] Available at: [https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2019/02/Informe\\_Observatorio\\_esBIM\\_Diciembre.pdf](https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2019/02/Informe_Observatorio_esBIM_Diciembre.pdf) [Accessed 2 Jun. 2019].
- [11] Ayats Pérez, C. (2015). *Lean: diseño y construcción.* [El Ejido]: Círculo Rojo.
- [12] Pons, J. and Rubio, I. (2019). *Lean construction y la planificación colaborativa. Metodología del Last Planner System.* 1st ed. Consejo General de Arquitectura Técnica de España.
- [13] Ministerio de Vivienda (2007). *Código técnico de la Edificación. DB-SE-C Cimientos. Anejo E.*
- [14] Ministerio de Fomento (2008). *Instrucción del Hormigón Estructural EHE-08. Capítulo XII Elementos estructurales.*

- 
- [15] Bañón Blázquez, L. (2010). *Tema 20. Elementos de Cimentación. I.T. Obras Públicas / Ing. Caminos*. [online] Universidad de Alicante. Available at: Universidad de Alicante (2010). Tema 20. Elementos de Cimentación. [online] Available at: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/25641/20/Tema%2020%20-%20Elementos%20de%20cimentaci%C3%B3n.pdf> [Accessed 4 Jun. 2019].
- [16] Ministerio de Fomento (2008). *Instrucción del Hormigón Estructural EHE-08. Anejo 18. Hormigones de uso no estructural*.
- [17] Ulma. (n.d.). *Encofrado de pilares ligero LGR | ULMA Construction*. [online] Available at: <https://www.ulmaconstruction.es/es-es/encofrados/encofrado-muros-pilares/encofrado-pilares-ligero-lgr> [Accessed 10 Jun. 2019].
- [18] Ulma. (n.d.). *Encofrado de losa recuperable RAPID | ULMA Construction*. [online] Available at: <https://www.ulmaconstruction.es/es-es/encofrados/encofrados-losas/encofrado-losa-recuperable-rapid> [Accessed 10 Jun. 2019].
- [19] Ministerio de Vivienda (2007). *Código técnico de la Edificación. DB-SE-AE. Seguridad Estructural. Acciones en la edificación*.
- [20] UNE EN 12390-2: *Ensayos de hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia*.
- [21] Ministerio de Fomento (2008). *Instrucción del Hormigón Estructural EHE-08. Capítulo XVI Control de la conformidad de los productos*.
- [22] UNE EN 12350-2: *Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: Ensayo de asentamiento*.
- [23] Ministerio de Fomento (2008). *Instrucción del Hormigón Estructural EHE-08. Capítulo XI Materiales*.
- [24] Applus+. (2019). *Inspección por partículas magnéticas | Applus+*. [online] Available at: [https://www.applus.com/es/ServiceSheet/magnetic\\_particle\\_\(mt\)-1340261535625](https://www.applus.com/es/ServiceSheet/magnetic_particle_(mt)-1340261535625) [Accessed 8 Jun. 2019].